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 24
№ 2
2023

Vol. 24
No. 2
2023

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г. **Том 24, № 2, 2023**

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, **Шемуранова Наталья Александровна** – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельскохозяйственных животных, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

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

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

На первой странице обложки второе фото П. Кочкарева, на 4-й странице обложки фото А. Злобина

Подписано к печати 12.04.2023
Дата выхода в свет 27.04.2023
Формат 60x84$^{1/8}$.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 18,60.
Тираж 100 экз. Заказ 5.
Свободная цена

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

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 «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Титова Вера Ивановна — д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», 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

Цой Юрий Алексеевич — д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

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

Брандорф Анна Зиновьевна — д.с.-х.н., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр по пчеловодству», г. Рыбное, Россия

Бурков Александр Иванович — д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник, зав. лабораторией 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

Козлова Людмила Михайловна — д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия, агрохимии и мелиорации 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, 2023;24(2)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

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

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

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

Registration number PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

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

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

(cc) BY

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

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

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, engineer of scientific and technical information, the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia,
Natalia A. Shemuranova, Cand. of Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

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

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

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

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

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

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

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

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

www. agronauka-sv.ru

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

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

On the first page cover second photo P. Kochkareva, on the 4th page of the cover photo A. Zlobina

Passed for printing
12.04.2023
Date of publication
27.04.2023
Format 60x84$^{1/8}$. Offset paper.
Cond. pecs. l. 18.60.
Circulation 100 copies. Order 5.
Free price.

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

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, Nizhniy Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Vera I. Titova Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Anton N. Tokarev Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

Eroma P. Urban Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus

Yuriy A. Tsoy Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Irina G. Shirokikh Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Irina N. Shchennikova Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Changzhong Ren President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China

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

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

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

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

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

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

Editorial Board

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

Anna S. Brandorf Dr. of Sci. (Agricultural), the director of the Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoe, Russia

Alexander I. Burkov Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher, the Honored Inventor of the Russian Federation, head of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, 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

Lyudmila M. Kozlova Dr. of Sci. (Agricultural), leading researcher, head of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Land Improvement, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

С. З. Гучетль, А. В. Головатская, С. А. Рамазанова, А. А. Волошко
Генетическое разнообразие линий подсолнечника российской селекции, выявленное с помощью анализа микросателлитных локусов…….. 173

О. П. Кибальник, Т. В. Ларина, О. Б. Каменева
Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго……... 187

В. Т. Синеговская, М. О. Синеговский
Выращивание растений сои методом гидропоники……. 194

Л. В. Багмет, Г. Н. Тарасова
Номенклатурные стандарты сортов груши селекции Свердловской селекционной станции садоводства……... 201

Т. Я. Прахова
Оценка продуктивности и адаптивности сортов кориандра в условиях лесостепи Среднего Поволжья……. 214

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова
Влияние степени поражения спорыньей на элементы продуктивности сортов озимой ржи…….. 223

А. В. Харина, Л. В. Волкова
Анализ комбинационной способности гибридов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев и продуктивности……... 231

В. В. Смук, А. М. Шпанев
Распространение ризоктониоза в посадках картофеля в условиях Северо-Запада РФ при неоднородном содержании элементов питания в почве…….. 240

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

В. С. Бойко, Н. А. Воронкова, А. Ю. Тимохин, Н. Ф. Балабанова
Вклад многолетних кормовых культур в азотный баланс агроэкосистем Западной Сибири…….. 249

О. В. Балун, Е. П. Шкодина, В. А. Яковлева, С. Ю. Жукова
Формирование уровней грунтовых вод осушаемых земель в природно-климатических условиях Новгородской области…… 257

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ

А. П. Кислицына, Ф. А. Попов, Е. В. Светлакова, А. Ю. Софронова
Оценка сортов люпина узколистного по урожайности и адаптивности в условиях Кировской области…….. 267

О. А. Тимошкин
Эффективность возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и смешанных посевах……... 276

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ

С. П. Матвейчук, И. А. Гребнев
Взаимозаменяемость охот как фактор устойчивости охотпользования…… 286

В. М. Глушков, В. А. Соловьев, М. С. Шевнина
Разработка технологии стандартизации параметров зимнего маршрутного учета охотничьих животных……... 294

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка
Разработка способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени…… 306

В. Г. Петько, И. А. Рахимжанова, Ю. А. Ушаков, М. Б. Фомин, А. С. Байков, В. А. Пушко
Повышение энергоэффективности ветроустановки для зарядки аккумуляторов……. 317

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

Saida Z. Guchetl, Anna V. Golovatskaya, Svetlana A. Ramazanova, Anastasiya A. Voloshko
Genetic diversity of the Russian sunflower breeding lines revealed by microsatellite loci analysis…… 173

Oksana P. Kibalnik, Tatyana V. Larina, Olga B. Kameneva
Breeding value of drought-resistant sterile sorghum lines…… 187

Valentina T. Sinegovskaya, Mikhail O. Sinegovskii
Growing soybean plants by hydroponic method…….. 194

Larisa V. Bagmet, Galina N. Tarasova
Nomenclatural standards of pear varieties bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station……. 201

Tatyana Ya. Prakhova
Evaluation of productivity and adaptability of coriander varieties under forest-steppe conditions of the middle Volga region……... 214

PLANT PROTECTION

Lucia M. Shchekleina, Tatyana K. Sheshegova
Influence of the degree of ergot damage on the productivity elements of winter rye varieties…… 223

Anastasiya V. Kharina, Lyudmila V. Volkova
Analysis of the combinational ability of spring soft wheat hybrids according to the resistance to leaf *Septoria* and plant productivity…….. 231

Vasiliy V. Smuk, Alexander M. Shpanev
The spread of rhizoctoniosis in potato plantings in the conditions of the North-West of the Russian Federation with a heterogeneous content of nutrients in the soil…… 240

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Vasiliy S. Boiko, Natalya A. Voronkova, Artem Yu. Timokhin, Natalya F. Balabanova
The contribution of perennial fodder crops to the nitrogen balance of agroecosystems in Western Siberia… 249

Olga V. Balun, Elena P. Shkodina, Valentina A. Yakovleva, Svetlana Yu. Zhukova
Formation of groundwater levels of drained lands in the natural and climatic conditions of the Novgorod region……. 257

FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

Antonida P. Kislitsyna, Fyodor A. Popov, Elena V. Svetlakova, Angelina Yu. Sofronova
The assessment of blue lupine varieties according to productivity and adaptability in the conditions of Kirov region……. 267

Oleg A. Timoshkin
Efficiency of cultivation of variegated alfalfa and awnless brome in pure form and in mixed sowings……. 276

FUR FARMING AND HUNTING

Sergey P. Matveytchuk, Ivan A. Grebnev
Interchangeability of hunts as a factor of sustainability of hunting use……... 286

Vladimir M. Glushkov, Vyacheslav A. Solovyev, Maria S. Shevnina
Development of technology for standardization of parameters of winter route registration of game animals…… 294

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Dmitriy Yu. Pavkin, Sergey S. Yurochka
Development of a method for using an optical module to determine the biometric parameters of the udder…. 306

Viktor G. Petko, Ilmira A. Rakhimzhanova, Yuriy A. Ushakov, Maxim B. Fomin, Aleksey S. Baikov, Vladislav A. Pushko
Improving the energy efficiency of wind turbines for charging batteries……. 317

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.173-186
УДК 631.523:633.854.78

(cc) BY

Генетическое разнообразие линий подсолнечника российской селекции, выявленное с помощью анализа микросателлитных локусов

© 2023. С. З. Гучетль✉, А. В. Головатская, С. А. Рамазанова, А. А. Волошко
ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», г. Краснодар, Российская Федерация

Для селекции высокопродуктивных сортов и гибридов подсолнечника необходимо использование исходного материала, обладающего значительным генетическим разнообразием. Его можно выявить с помощью молекулярно-генетических маркеров. Цель исследований – генотипирование линий подсолнечника селекции Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательского институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (ВНИИМК), созданных в разных экологических зонах возделывания, и оценка их генетического разнообразия с помощью микросателлитных локусов. Для исследований, проведенных в 2020-2022 гг., использовали 23 линии из коллекции Центральной экспериментальной базы (ЦЭБ), 17 линий – Донской опытной станции имени Л. Н. Жданова (ДОС) и 10 линий – Армавирской опытной станции (АОС) ВНИИМК. ДНК была выделена из проростков СТАВ-способом. Образцы генотипированы с использованием 12 SSR-маркеров. Продукты ПЦР разделяли в 8%-ном денатурирующем полиакриламидном геле или методом капиллярного электрофореза в генетическом анализаторе. Основные показатели генетического разнообразия для всех коллекций незначительно отличались друг от друга, были умеренными и увеличивались в ряду коллекций ВНИИМК: АОС – ДОС – ЦЭБ – объединенная коллекция. Суммарно выявлено 37 аллелей, в среднем 3,083 аллеля на локус. Эффективное число аллелей составило от 1,094 до 3,290, в среднем 2,154. Значения индекса полиморфного информационного содержания варьировали от 0,084 до 0,651, в среднем 0,434. Значения величин наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности колебались от нуля до 0,071, в среднем 0,030 и от 0,086 до 0,696, в среднем 0,500, соответственно. Число общих аллелей между разными коллекциями составило 23. Анализ молекулярной вариансы выявил, что бóльшая часть общей дисперсии (91 %) обусловлена различиями между линиями внутри каждой коллекции, 3 % – различиями между коллекциями. По результатам кластерного анализа материнские линии коллекций ЦЭБ, ДОС и АОС ВНИИМК, в основном, группировались в отдельный от отцовских кластер или субкластер. Полученные результаты свидетельствуют об умеренном генетическом разнообразии изученных линий подсолнечника селекции ВНИИМК и о существовании небольших различий между коллекциями.

Ключевые слова: *Helianthus annuus* L., *линия, происхождение, ДНК, SSR, полимеразная цепная реакция, генетическое разнообразие*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства сельского хозяйства РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (тема FGRU-2019-0002, № ЕГИСУ НИОКТР АААА-А20-120121890075-8).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гучетль С. З., Головатская А. В., Рамазанова С. А., Волошко А. А. Генетическое разнообразие линий подсолнечника российской селекции, выявленное с помощью анализа микросателлитных локусов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):173-186. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.173-186

Поступила: 19.01.2023 Принята к публикации: 17.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Genetic diversity of the Russian sunflower breeding lines revealed by microsatellite loci analysis

© 2023. Saida Z. Guchetl✉, Anna V. Golovatskaya, Svetlana A. Ramazanova, Anastasiya A. Voloshko
V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russian Federation

The breeding of high-yielding sunflower varieties and hybrids requires the use of parent material with considerable genetic diversity. It can be identified using molecular genetic markers. The purpose of this study was the genotyping of sunflower lines bred by V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK), developed in different ecological areas of cultivation, and to evaluate their genetic diversity using microsatellite loci. For the studies conducted in 2020-2022, there were used 23 lines from the Central experimental base (CEB), 17 lines from L.A. Zhdanov Don experimental station (DES), and 10 lines from the Armavir experimental station (AES). DNA was isolated from seedlings by the CTAB method. Samples were genotyped using 12 SSR markers. PCR products were separated in 8 % denaturing polyacrylamide gel or by capillary electrophoresis in a genetic analyzer. The main indicators of genetic diversity for all collections did not differ significantly from each other,

and were moderate and increased in the collections of VNIIMK: AES – DES – CEB -the joint collection. In total there have been identified 37 alleles, an average 3.083 alleles per locus. The effective number of alleles ranged from 1.094 to 3.290 with an average value of 2.154. The values of the polymorphic information content (PIC) index ranged from 0.084 to 0.651, with an average of 0.434. The values of observed and expected heterozygosity ranged from zero to 0.071, 0.030, on average, and from 0.086 to 0.696, 0.500, on average, respectively. The number of shared alleles between different collections was 23. Molecular variation analysis revealed that most of the total variance (91 %) was due to differences between lines within each collection and 3 % - to differences between collections. According to the results of the cluster analysis, the maternal lines from the collections of the CEB, DES, and AES of VNIIMK were mostly grouped into a cluster or subcluster separate from the paternal ones. The obtained results indicate a moderate genetic diversity of the studied sunflower lines of the breeding of VNIIMK and the existence of small differences between the collections.

Key words: *Helianthus annuus* L., *line, origin, DNA, SSR, polymerase chain reaction, genetic diversity*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation within the state assignment of V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops (theme No. FGRU-2019-0002, № EGISU NIOKTR AAAA-A20-120121890075-8).

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

For citations: Guchetl S. Z., Golovatskaya A. V., Ramazanova S. A., Voloshko A. A. Genetic diversity of the Russian sunflower breeding lines revealed by microsatellite loci analysis. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):173-186. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.173-186

Received: 19.01.2023 Accepted for publication: 17.03.2023 Published online: 25.04.2023

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) – одна из важнейших масличных культур. Для получения высоких урожаев актуально производство отечественных высокопродуктивных сортов и гибридов, адаптированных к условиям регионов возделывания. Для их создания необходимо использование исходного материала, обладающего значительным генетическим разнообразием. Культивируемый подсолнечник является генетически очень изменчивым, предположительно из-за гибридизации с дикими родичами. Чтобы охарактеризовать генетическое разнообразие подсолнечника и количественно оценить вклад диких родичей в формирование генома культурного подсолнечника, С. Хюбнер с соавторами (S. Hübner et al.) [1] секвенировали культивируемые линии, местные американские коренные сорта и дикорастущие образцы (формы), относящиеся к 11 видам. Авторы обнаружили, что пангеном культивируемого подсолнечника включает 61 205 генов, из которых 27 % различаются между генотипами. Приблизительно 10 % пангенома культивируемого подсолнечника получено в результате интрогрессии генетического материала от дикорастущих видов подсолнечника [1]. Однако использование ограниченного числа генотипов в качестве родительских форм в программах селекции приводит к уменьшению генетической изменчивости возделываемых гибридов и сортов. Ц. В. Филиппи с соавт. (C. V. Filippi et al.) [2, 3] оценили степень генетического разнообразия председекционных коллекций подсолнечника INTA (Аргентина), INRA (Франция) и USDA-UBC (Соединенные Штаты Америки – Канада). Стратегия смешанного генотипирования была реализована объединением собственных секвенированных данных с общедоступными данными полногеномного секвенирования для создания интегративной матрицы однонуклеотидного полиморфизма из 11 834 SNP. В целом, полученные авторами оценки генетического разнообразия были умеренными.

Для изучения генетического разнообразия подсолнечника доступны различные виды молекулярных маркеров, наиболее популярными из которых являются микросателлиты (single sequence repeats, SSR) и однонуклеотидные полиморфизмы (SNP). Порядка 2000 SSR-маркеров были разработаны ранее на основе геномных (gSSR) и EST (EST-SSR) библиотек [4, 5, 6]. SNP-технологии бурно развиваются в последнее десятилетие [7, 8, 9]. Аллельной изменчивостью в локусах SSR и SNP управляют различные мутационные процессы, частота мутаций SNP на несколько порядков ниже, чем у SSR. Как следствие, SNP обычно диаллельны, тогда как SSR характеризуются богатым аллельным разнообразием и высокой степенью его гетерозиготности [10]. Предполагается, что для генетических исследований следует использовать в 7-11 раз больше SNP-маркеров, чем SSR [11]. Так, популяционная структура коллекций зародышевой плазмы обычно оценивается с использованием полиаллельных SSR-локусов, из-за их более высокой информативности по сравнению с диаллельными SNP-маркерами [12, 13]. С помощью 42 микросателлитных и 182 SNP-маркеров Ц. В. Филиппи с соавт. (C. V. Filippi et al.) [3] изучали уровни разнообразия и попу-

ляционной структуры зародышевой плазмы подсолнечника в предселекционных коллекциях INTA. Оба типа маркеров продемонстрировали сходные показатели генетической изменчивости. Была обнаружена значимая корреляция генетических дистанций между образцами зародышевой плазмы, выявленных при использовании SSR- и SNP-маркеров.

Генотипирование подсолнечника с использованием полиморфизма микросателлитных локусов проводилось во многих селекционных центрах. В последнее десятилетие проведена паспортизация родительских линий и гибридов подсолнечника селекции Молдавии [14], Франции [15], Аргентины [2, 3], Пакистана, Беларуси, Индии, США и т. д. [16, 17]. Для генотипирования использовалось от 10 до 110 SSR-маркеров. В большинстве случаев удалось достичь отличимости генотипов, установить генетические взаимоотношения между линиями.

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (ВНИИМК) – ведущая организация, занимающаяся селекцией и семеноводством масличных культур в Российской Федерации, с более чем вековой историей. Сорта подсолнечника, созданные В. С. Пустовойтом во ВНИИМК, стали основой для создания современных сортов во всем мире. Помимо селекционной программы по созданию межлинейных гибридов подсолнечника на Центральной экспериментальной базе (ЦЭБ) ВНИИМК, существуют собственные программы на Донской опытной станции (ДОС) ВНИИМК и Армавирской опытной станции (АОС) ВНИИМК, которые располагаются в разных экологических зонах возделывания подсолнечника. В институте выполняется паспортизация селекционного материала и изучение его генетического разнообразия с помощью микросателлитных маркеров ДНК [18, 19]. Кроме того, 186 линий подсолнечника селекции ВНИИМК были охарактеризованы методом RAD-секвенирования, а также по некоторым морфологическим и фенологическим экономически важным признакам. В результате секвенирования RAD-библиотек и последующего анализа выявлены 65 553 полиморфных варианта, включая SNP и INDEL. Анализ показал значительное генетическое и фенотипическое разнообразие исходного селекционного материала подсолнечника, созданного во ВНИИМК [7]. Однако исследования генетического разнообразия новых селекционных линий до сих не проводились, не изучены межпопуляционные различия между пулами линий из разных филиалов института.

Цель исследований – генотипирование линий подсолнечника, созданных при реализации селекционных программ ЦЭБ ВНИИМК, ДОС ВНИИМК и АОС ВНИИМК, и оценка их генетического разнообразия с помощью микросателлитных локусов.

Научная новизна – получение новых данных о генетическом разнообразии современных линий подсолнечника, селекция которых осуществлялась в разных экологических зонах возделывания культуры.

Материал и методы. В качестве материала для исследований использовали 23 линии селекции ЦЭБ ВНИИМК: Кубанский 86, Кубанский 93, ВК101А, ВК101Б, ВК680А, ВК678А, ВК1клпБ, ВК1клпА, ВК1имиА, ВК1сурА, ВК1сурБ, ВК551, ВК508, ВК585, ВК580, ВК302, ВК301, ВК303, ВК989, ВК304, ВК21клп, ВК23ими, ВК21сур; 17 линий селекции ДОС ВНИИМК: ЭД155, ВД541, ЭД114, ЭД110, ЭД788, ВД354, ВД22А, 49А, ЭД399, ВД342, ЭД931, ЭД169, ЭД33, ЭД73, ЭД236, ЭД127, ЭД45; 10 линий селекции АОС ВНИИМК: ВА389, ВА337, ВА760Б, ВА760А, ВА761Б, ВА761А, ВА737, ВА384, ВА568, ВА820. Всего – 23 отцовских и 27 материнских форм гибридов, в некоторых случаях представленных стерильными (А формы) и закрепителями стерильности (Б формы). Образцы Кубанский 86, Кубанский 93 и 49А являются простыми гибридами – материнскими формами трехлинейных гибридов.

ДНК была выделена из семядольных листьев семидневных этиолированных проростков подсолнечника CTAB-способом [20]. Качество и концентрацию геномной ДНК оценивали с помощью электрофоретического анализа. Для проведения ПЦР использовали 25 мкл реакционной смеси следующего состава: 67 мМ трис-HCl, pH 8,8; 16,6 мМ сульфата аммония; 2,5 мМ $MgCl_2$; 0,01% Tween 20; по 0,2 мМ каждого dNTP; по 10 пМ каждого праймера; 10 нг матричной ДНК и 1 ед. рекомбинантной термостабильной ДНК полимеразы (НПО «Сибэнзим», РФ). Амплификацию выполняли в термоциклере MiniAmp™ plus (Thermo Scientific, США) при следующих температурно-временных режимах: начальная денатурация при 96 °С в течение 2 мин, затем

30-35 циклов при температурно-временном режиме: денатурация при 94 °С – 30 сек, отжиг при 55-60 °С – 40 сек, элонгация при 70 °С – 1 мин, финальная элонгация при 70 °С – 2 мин. Температура отжига была подобрана экспериментальным путем отдельно для каждой пары праймеров. Все образцы были генотипированы с использованием 12 ядерных SSR-маркеров (табл. 1). Детекцию продуктов ПЦР осуществляли электрофорезом в 8%-ном денатурирующем полиакриламидном геле, окрашенном нитратом серебра ($AgNO_3$). Разделение продуктов амплификации SSR-локусов ORS5, ORS1144, ORS559, HA514, ORS509, полученных с использованием пары праймеров, один из которых был флуоресцентно мечен (FAM, R6G, TAMRA или ROX), осуществляли методом капиллярного электрофореза в денатурирующих условиях на генетическом анализаторе «Нанофор-05» (ИАП РАН, РФ). Размер фрагментов определяли относительно размерного стандарта SD-600 меченным флуоресцентным красителем (Dy-632) с помощью GeneMarker software version 3.0.1. (State College, PA). Программное обеспечение GenAlEx 6.5 использовали для анализа числа аллелей (Na), числа эффективных аллелей (Ne), наблюдаемой гетерозиготности (Ho), ожидаемой гетерозиготности как меры генетического разнообразия (He), генетических дистанций D по Нею. Степень дифференциации между коллекциями ЦЭБ ВНИИМК, ДОС ВНИИМК и АОС ВНИИМК была рассчитана путем анализа молекулярной дисперсии (AMOVA). Статистическую значимость оценивали выполнением 999 перестановок [21]. Индекс полиморфного информационного содержания (PIC) вычисляли с помощью компьютерного программного обеспечения Gene-Calc [22] по формуле:

$$PIC = 1 - \sum_{i=1}^{l} P_i^2 - \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{j=i+1}^{l} 2P_i^2 P_j^2,$$

где P_i, P_j частота i и j аллелей, ι – число аллелей.

Оценку генетических взаимосвязей проводили в программе Statistica 10.0 (StatSoft) с построением диаграмм методом попарного внутригруппового невзвешенного среднего (UPGMA)[1]. Для проведения анализа данные по аллельному состоянию микросателлитных локусов были переведены в бинарную матрицу, в которой амплифицированные фрагменты ДНК оценивали как присутствующие (1) или отсутствующие (0).

Результаты и их обсуждение. SSR-маркеры, использованные в данном исследовании, были выбраны на основании таких критериев, как качество продуктов амплификации, кодоминантность, степень полиморфизма, положение на генетической карте. Всего отобрали 12 пар SSR-праймеров. Для оценки распределения локусов, амплифицированных с помощью этих праймеров в геноме подсолнечника, был проведен поиск их хромосомной локализации в референсном геноме с использованием баз данных NCBI (GenBank) и веб-версии программы Primer-BLAST. Определено, что данный набор достаточно равномерно распределен по геному подсолнечника и предположительно охватывает 11 из 17 хромосом. Для локуса HA1327 определена локализация в трех группах сцепления 3, 6 и 13, однако, только фрагмент размером 214 п.н. учитывался нами как маркерный. И, напротив, для праймерной пары ORS662 было обнаружено 2 полиморфных локуса в разных группах сцепления (учитывали только $ORS662_{350}$) (табл. 1).

Таким образом, из 13 испытанных локусов в исследовании использованы 12.

Для всех линий из разных коллекций были составлены генетические паспорта и определены основные показатели информативности изучаемых SSR-локусов. Поскольку стерильные линии (А формы) и закрепители стерильности (Б формы) имели идентичные генотипы, описывали генотип только одной формы. Для линий подсолнечника коллекции ЦЭБ ВНИИМК использованные пары SSR-праймеров продуцировали 31 аллель, в среднем 2,583 аллеля на локус. Эффективное число аллелей колебалось от 1,105 до 3,089 при среднем значении 2,040. Индекс PIC составил от 0,090 до 0,635, в среднем 0,395. Значения величин Ho и He колебались от нуля до 0,100 (в среднем 0,021) и от 0,095 до 0,676 (в среднем 0,482) соответственно (табл. 2).

Число аллелей для линий коллекции АОС ВНИИМК составило 29, в среднем 2,417 на локус. Локус ORS559 был мономорфным. Эффективное число аллелей варьировало от 1,000 до 3,200, в среднем 1,989. Значения PIC изменялись от нуля до 0,711 (в среднем 0,409), Ho и He – от нуля до 0,375 (в среднем 0,031) и от нуля до 0,694 (в среднем 0,443) соответственно (табл. 3).

[1]STATISTICA (Data Analysis Software System), StatSoft, Inc. Version 10. 2011. [Электронный ресурс]. URL: http://www.statsoft.com (дата обращения: 20.12.2022).

Таблица 1 – **Характеристика SSR-локусов ДНК у изучаемых линий подсолнечника /**
Table 1 – **Characteristics of sunflower lines DNA SSR loci studied in the work**

Локус / Locus	*Хромосома / Chromosome*	*Ожидаемый размер ампликона, п. н. / Expected amplicon size*	*ID**	*Мотив / Motive*
ORS509	2	198	NC_035433.2	(AT)8(GT)17
HA1327	3 6 13	214 1161 504	NC_035435.2	(ATT)30
HA432	4	162	NC_035436.2	(GT)10
HA1796	5	230	NC_035437.2	(ATT)33
ORS1287	8	210	NC_035440.2	(CT)11
ORS1144	10	126	NC_035442.2	(CT)13(CA)8
ORS5	11	311	NC_035443.2	(AAC)
ORS328	11	369	NC_035443.2	(ACAAC)34
ORS559	12	312	NC_035444.1	(AG)6
HA514	17	171	NC_035449.2	(GA)13
ORS811	17	156	NC_035449.2	(CACTCT)12
$ORS662_{250}$	9	289	NC_035441.2	-
$ORS662_{350}$	1	314	NC_035433.2	(AG)16

* ID – Идентификационный номер нуклеотидной последовательности в базе данных GenBank /
* ID – Nucleotide sequence identification number in the GenBank database

Таблица 2 – **Основные показатели информативности изучаемых SSR-локусов у линий подсолнечника коллекции ЦЭБ ВНИИМК /**
Table 2 – **The main informativity indicators of studied SSR loci in the sunflower lines from the collection of the Central experimental base (CEB) of VNIIMK**

Локус / Locus	*Na*	*Ne*	*PIC*	*Ho*	*He*
ORS5	2,000	1,724	0,331	0,000	0,420
ORS1144	2,000	1,980	0,372	0,000	0,495
ORS1287	3,000	2,062	0,424	0,000	0,515
HAR432	3,000	2,299	0,482	0,000	0,565
ORS509	3,000	2,151	0,435	0,000	0,535
HA514	3,000	2,532	0,527	0,000	0,605
ORS811	2,000	1,835	0,351	0,000	0,455
HA1327	2,000	1,923	0,372	0,100	0,480
ORS559	2,000	1,105	0,090	0,000	0,095
HAR1796	2,000	1,782	0,351	0,050	0,439
ORS328	5,000	3,089	0,635	0,050	0,676
ORS662 (350)	2,000	1,995	0,372	0,050	0,499
Среднее / Average	2,583±0,260	2,040±0,138	0,395±0,041	0,021±0,010	0,482±0,041

Примечания: Na – число аллелей на локус, Ne – эффективное число аллелей, PIC – индекс полиморфного информационного содержания, Ho – наблюдаемая гетерозиготность, He – ожидаемая гетерозиготность /
Notes: Na – number of alleles per locus, Ne – effective number of alleles, PIC – index of polymorphic information content, Ho – observed heterozygosity, He – expected heterozygosity

Таблица 3 – **Основные показатели информативности изучаемых SSR-локусов у линий подсолнечника коллекции АОС ВНИИМК /**
Table 3 – **The main informativity indicators of studied SSR loci in the sunflower lines from the collection of the Armavir experimental station (AES) of VNIIMK**

Локус / Locus	*Na*	*Ne*	*PIC*	*Ho*	*He*
ORS5	2,000	1,882	0,358	0,000	0,469
ORS1144	2,000	1,600	0,304	0,000	0,375
ORS1287	4,000	3,267	0,711	0,000	0,694
HAR432	2,000	1,600	0,304	0,000	0,375
ORS509	2,000	1,600	0,304	0,000	0,375
HA514	4,000	3,200	0,629	0,000	0,688
ORS811	2,000	1,690	0,468	0,000	0,408
HA1327	3,000	2,133	0,468	0,000	0,531
ORS559	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
HAR1796	2,000	2,000	0,500	0,000	0,500
ORS328	3,000	2,462	0,511	0,000	0,594
ORS662 $_{(350)}$	2,000	1,438	0,358	0,375	0,305
Среднее / Average	2,417±0,260	1,989±0,198	0,409±0,054	0,031±0,031	0,443±0,054

* См. примечания к табл. 2 / * Vide notes to table 2

Для линий подсолнечника ДОС ВНИИМК с помощью 12 пар SSR-праймеров получен 31 аллель, в среднем 2,583 аллеля на локус. Эффективное число аллелей колебалось от 1,125 до 3,266 (в среднем 2,011). Индекс PIC составлял от 0,104 до 0,649 (в среднем 0,416). Величины Но и Не показали значения от нуля до 0,118 (в среднем 0,040) и от 0,111 до 0,694 (в среднем 0,461) соответственно (табл. 4).

Таблица 4 – **Основные показатели информативности изучаемых SSR-локусов у линий подсолнечника коллекции ДОС ВНИИМК /**
Table 4 – **The main informativity indicators of studied SSR loci in the sunflower lines from the collection of L. A. Zhdanov Don experimental station (DES) of VNIIMK**

Локус / Locus	*Na*	*Ne*	*PIC*	*Ho*	*He*
ORS5	2,000	1,895	0,367	0,059	0,472
ORS1144	2,000	1,940	0,367	0,000	0,484
ORS1287	2,000	1,742	0,540	0,000	0,426
HAR432	2,000	1,940	0,367	0,000	0,484
ORS509	3,000	1,354	0,280	0,059	0,261
HA514	3,000	2,592	0,530	0,059	0,614
ORS811	3,000	2,321	0,500	0,059	0,569
HA1327	3,000	2,529	0,627	0,071	0,605
ORS559	2,000	1,125	0,104	0,000	0,111
HAR1796	2,000	1,940	0,367	0,000	0,484
ORS328	5,000	3,266	0,649	0,118	0,694
ORS662$_{(350)}$	2,000	1,486	0,295	0,059	0,327
Среднее / Average	2,583±0,260	2,011±0,171	0,416±0,047	0,040±0,011	0,461± 0,047

* См. примечания к табл. 2 / * Vide notes to table 2

Основные показатели информативности для всех коллекций незначительно отличались друг от друга и были умеренными, в общем характерными для культивируемого подсолнечника [2, 3, 15] (табл. 2, 3, 4). Объединив данные всех коллекций, мы получили общую картину генетического разнообразия объединенной коллекции линий ВНИИМК по микросателлитным локусам, в которой было выявлено 37 аллелей, в среднем 3,083 аллеля на локус. Эффективное число аллелей составило от 1,094 до 3,290 при среднем значении 2,154. Индекс PIC – от 0,084 до 0,651 (в среднем 0,434), значения величин Но и Не колебались от нуля до 0,071 (в среднем 0,030) и от 0,086 до 0,696 (в среднем 0,500) соответственно (табл. 5).

Таблица 5 – **Основные показатели информативности SSR-локусов у линий подсолнечника объединённой коллекции ВНИИМК /**
Table 5 – **The main informativity indicators of studied SSR loci in the sunflower lines from the joint collection of VNIIMK**

Локус / Locus	*Na*	*Ne*	*PIC*	*Ho*	*He*
ORS5	2,000	1,824	0,345	0,022	0,452
ORS1144	2,000	1,976	0,371	0,000	0,494
ORS1287	5,000	2,360	0,614	0,000	0,576
HAR432	3,000	2,048	0,418	0,000	0,512
ORS509	3,000	1,794	0,382	0,022	0,443
HA514	4,000	2,757	0,563	0,022	0,637
ORS811	3,000	1,995	0,436	0,023	0,499
HA1327	3,000	2,908	0,633	0,071	0,656
ORS559	3,000	1,094	0,084	0,000	0,086
HAR1796	2,000	1,984	0,370	0,022	0,496
ORS328	5,000	3,290	0,651	0,067	0,696
ORS662 $_{(350)}$	2,000	1,824	0,35	0,111	0,452
Среднее/ Average	3,083±0,313	2,154±0,170	0,434±0,045	0,030±0,010	0,500±0,045

* См. примечания к табл. 2 / * Vide notes to table 2

Средние величины показателей информативности в основном увеличивались в ряду коллекций: АОС – ДОС – ЦЭБ – объединенная коллекция ВНИИМК. Исключение составил показатель PIC, значение которого у линий подсолнечника Центральной экспериментальной базы было самым низким по сравнению с коллекциями из Армавирской и Донской опытных станций. Наибольшим разнообразием отличалась коллекция ЦЭБ ВНИИМК. Но если рассматривать все три коллекции как одну общую (объединенную), то ее генетическое разнообразие самое существенное и как источник генетического разнообразия она самая ценная (табл. 6).

Таблица 6 – **Изменение средних величин показателей информативности системы маркеров у линий подсолнечника в коллекциях ВНИИМК /**
Table 6 – **Changes in the average values of informativity indicators of the marker system in the sunflower lines in collections of VNIIMK**

Коллекция / Collection	*Na*	*Ne*	*PIC*	*Ho*	*He*	*Всего аллелей / Alleles in total*
АОС / AES	2,417±0,260	1,989±0,198	0,409±0,054	0,031±0,031	0,443±0,054	29
ДОС / DES	2,583±0,260	2,011±0,171	0,416±0,047	0,040±0,011	0,461±0,047	31
ЦЭБ / CEB	2,583±0,260	2,040±0,138	0,395±0,041	0,021±0,010	0,482±0,041	31
Объединенная / Joint	3,083±0,313	2,154±0,170	0,434±0,045	0,030±0,010	0,500±0,045	37

* См. примечания к табл. 2 / * Vide notes to table 2

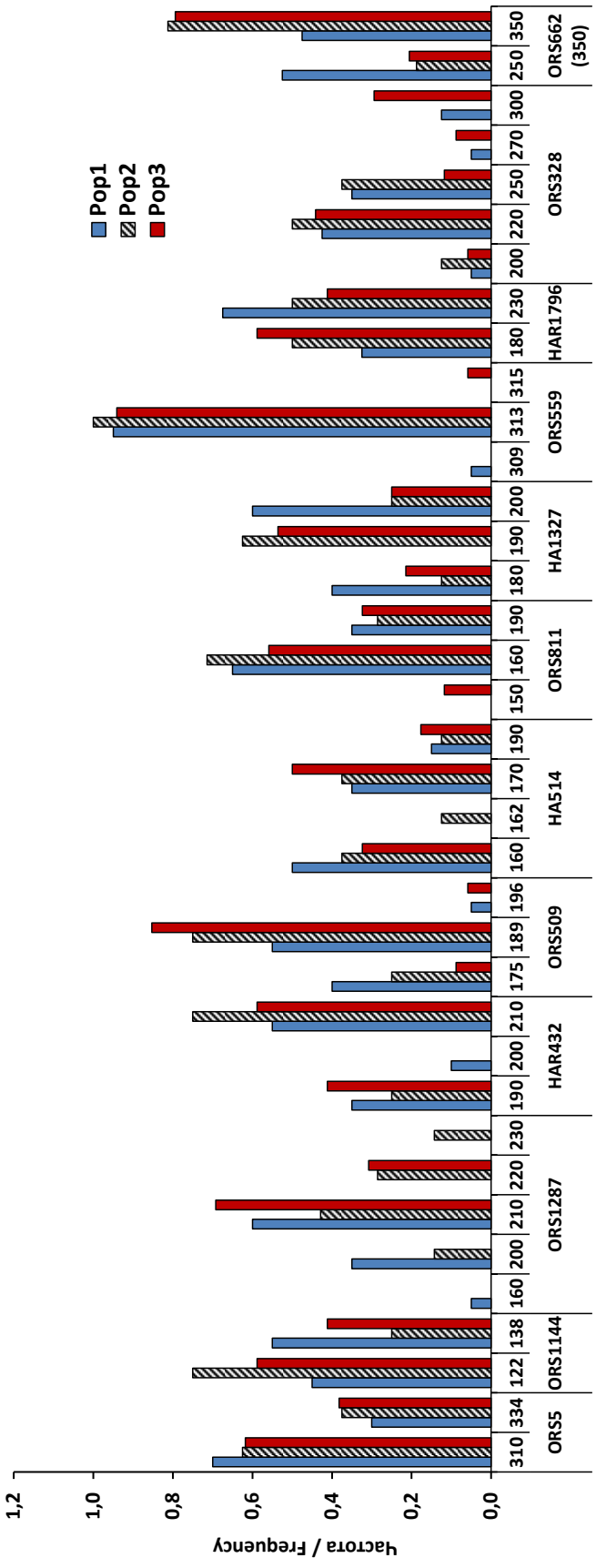


Рис. 1. **График частоты аллелей 12 SSR-локусов в коллекциях линий подсолнечника: Pop 1 – ЦЭБ ВНИИМК; Pop 2 – АОС ВНИИМК; Pop 3 – ДОС ВНИИМК /**
Fig. 1. **Graph of the allele frequency of 12 SSR loci in the collections of sunflower lines: Pop 1 – CEB of VNIIMK; Pop 2 – AES of VNIIMK; Pop 3 – DES of VNIIMK**

Минорные аллели с частотой встречаемости 0,05 – $ORS1287_{160}$, $ORS509_{196}$, $ORS559_{309}$, $ORS328_{200}$ и $ORS328_{270}$ были обнаружены в коллекции ЦЭБ ВНИИМК, $ORS509_{196}$, $ORS559_{315}$ и $ORS328_{200}$ – ДОС ВНИИМК. Различия в частотах аллелей между селекционными коллекциями были очевидны не только при наблюдении значений частоты минорных аллелей, но и при изучении графиков частот аллелей. Частота аллелей полиморфных локусов в коллекциях изменялась от 0,05 до 0,95 (рис. 1). Количество общих аллелей между разными коллекциями составило 23.

Дальнейшие расчеты выполняли с допущением, что каждая коллекция представляет собой отдельную популяцию. Такой прием используется для описания коллекций линий подсолнечника, происходящих от разных оригинаторов [3, 23]. Анализ молекулярной вариансы AMOVA, характеризующий генетическую дифференциацию изучаемых коллекций, выявил, что 3 % от общей дисперсии обусловлено различиями между коллекциями, 6 % – внутри линий, а бóльшая часть дисперсии (91 %) – различиями между линиями внутри каждой коллекции (табл. 7). Внутрилинейная изменчивость обусловлена наличием в коллекциях образцов, которые являются материнскими формами трехлинейных гибридов. По сути, эти образцы представляют собой простые гибриды и, следовательно, гетерозиготны по некоторым локусам.

Генетические дистанции D по Нею между коллекциями линий еще достаточно невелики. Дистанция между коллекциями ЦЭБ и АОС составила 0,118, ДОС и АОС – 0,042. Наибольшая генетическая дистанция обнаружена между коллекциями ЦЭБ и ДОС – 0,120.

Таблица 7 – **Результаты анализа общего генетического разнообразия (AMOVA) линий подсолнечника коллекций ЦЭБ, АОС, ДОС ВНИИМК /**
Table 7 – **Results of the AMOVA analysis of the total genetic diversity of the sunflower lines from the collections of the CEB, AES, and DES of VNIIMK**

Источник разнообразия / Source of diversity	*Число степеней свободы (df) / Number of the degree of freedom*	*Сумма квадратов (SS) / Sum of squares*	*Среднее квадратов (MS) / Average of squares*	*Доля в общей дисперсии / Part in total dispersion,*		*P*
				абс. значения / absolute value	*%*	
Между коллекциями / Among collections	2	17,804	8,902	0,104	3,0	0,08
Внутри коллекций / Inside collections	42	250,307	5,960	2,891	91,0	
Внутри линий / Inside lines	45	8,000	0,178	0,178	6,0	
Всего / Total	89	276,111	-	3,173	100,0	

Для определения генетических взаимоотношений между линиями подсолнечника для каждой и объединенной коллекции выполнен кластерный анализ с построением диаграмм методом попарного внутригруппового невзвешенного среднего (UPGMA). Линии ЦЭБ ВНИИМК разделились на 2 кластера на уровне объединения 3,8. В кластер I попали, преимущественно, материнские формы гибридов, за исключением отцовских форм ВК303 и ВК585. Кластер II формировали исключительно отцовские формы гибридов – носители генов восстановителей фертильности. Пара линий ВК1сур и ВК1клп обладали идентичными генотипами, так же, как и ВК508 и ВК580. Эти линии являются аналогами по отношению друг к другу, что и объясняет их сходство (рис. 2). Генетические дистанции между линиями составили от 0 до 3,8.

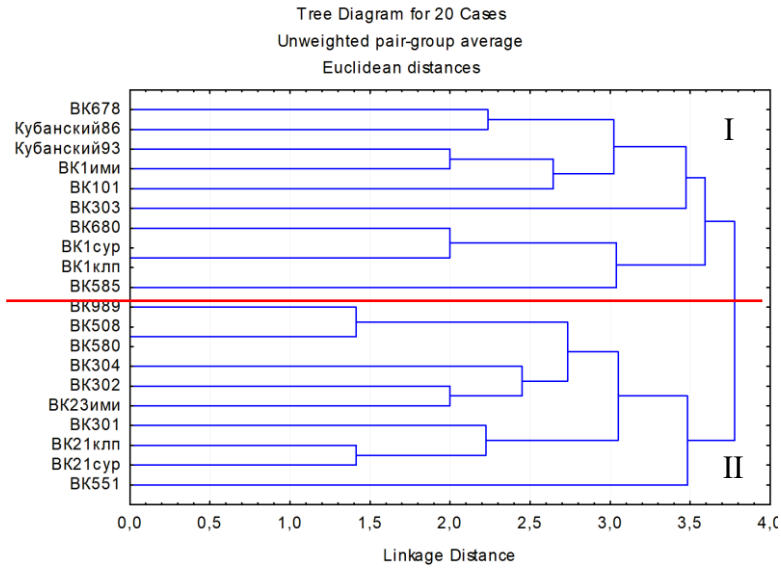


Рис. 2. **Дендрограмма генетических дистанций между линиями подсолнечника коллекции ЦЭБ ВНИИМК, построенная методом UPGMA по результатам полиморфизма 12 SSR-локусов /**
Fig. 2. **Dendrogram of genetic distances between the sunflower lines from the CEB of VNIIMK collection constructed by the UPGMA method based on the results of polymorphism analysis of 12 SSR loci**

Линии АОС ВНИИМК разделились на два кластера на уровне объединения 3,7. Как и в случае с ЦЭБ ВНИИМК, материнские формы гибридов попали в один кластер. В этот же кластер были сгруппированы отцовские формы ВА389 и ВА568. Второй кластер формировали отцовские формы гибридов ВА568, ВА348, ВА820, ВА737 и ВА337. Все линии имели уникальные генотипы по 12 микросателлитным локусам. Генетические дистанции между линиями колебались от 2,2 до 3,7 (рис. 3).

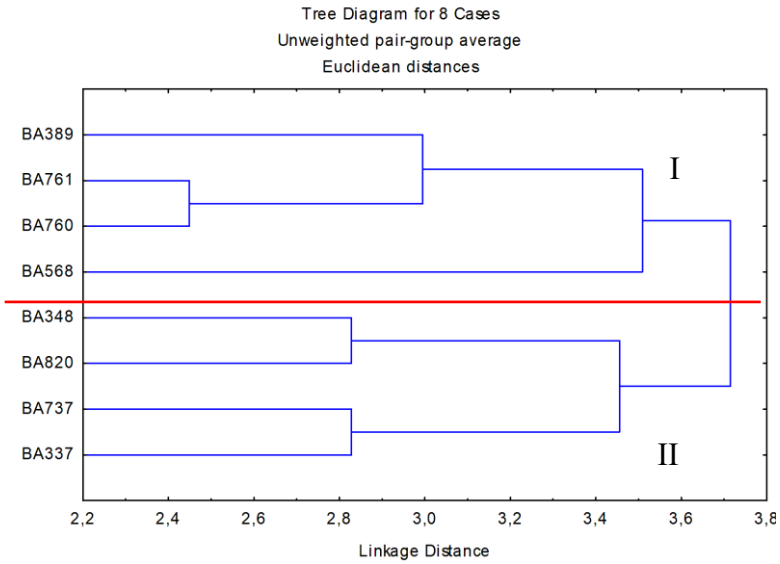


Рис. 3. **Дендрограмма генетических расстояний между линиями подсолнечника коллекции АОС ВНИИМК, построенная методом UPGMA по результатам анализа полиморфизма 12 SSR-локусов /**
Fig. 3. **Dendrogram of genetic distances between the sunflower lines from the AES of VNIIMK collection constructed by the UPGMA method based on the results of polymorphism analysis of 12 SSR loci**

Линии подсолнечника коллекции ДОС ВНИИМК были разделены на две основные группы на уровне объединения 3,7. В первом кластере (I) группировались материнские и отцовские линии. Второй кластер (II) формировали преимущественно материнские линии, за исключением отцовской ЭД788. Все линии имели уникальные генотипы по 12 микросателлитным локусам, генетические дистанции между ними составили от 1,5 до 3,7 (рис. 4).

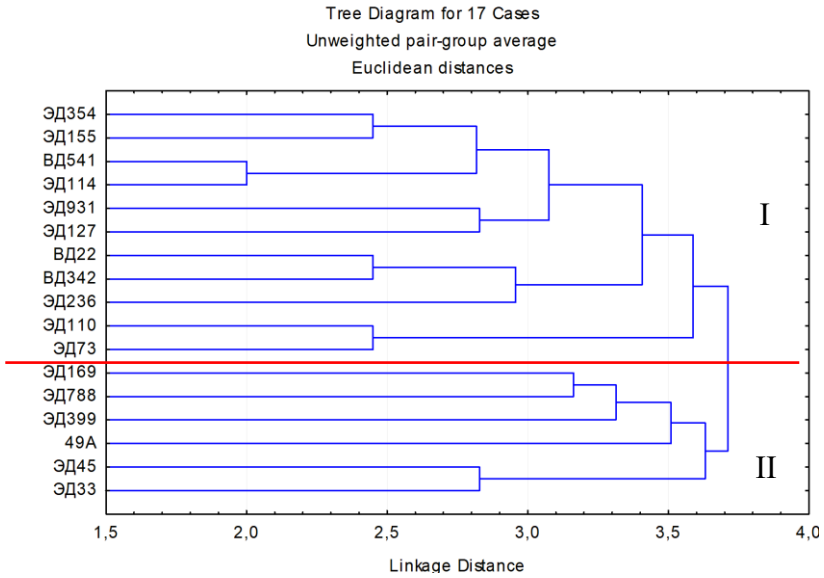


Рис. 4. **Дендрограмма генетических расстояний между линиями подсолнечника коллекции ДОС ВНИИМК, построенная методом UPGMA по результатам анализа полиморфизма 12 SSR-локусов /**
Fig. 4. **Dendrogram of genetic distances between the sunflower lines from the DES of VNIIMK collection constructed by the UPGMA method based on the results of polymorphism analysis of 12 SSR loci**

Кластерный анализ объединённых трех коллекций иллюстрирует предыдущие выводы о генетическом разнообразии линий внутри и между коллекциями. Линии объединенной коллекции ВНИИМК были разделены на две основные группы на уровне объединения 3,9. В первый кластер вошли образцы из разных коллекций. В то же время группировка в один из субкластеров второго кластера произошла предпочтительно по принципу принадлежности к определенной коллекции. Так, субкластер IIа объединил отцовские формы гибридов ЦЭБ

ВНИИМК, что говорит о генетической близости этих линий между собой. Что же касается идентификации линий, то при использовании данного набора ДНК-маркеров не удалось добиться 100%-ной отличимости. Процент уникальности составил 96 (рис. 5).

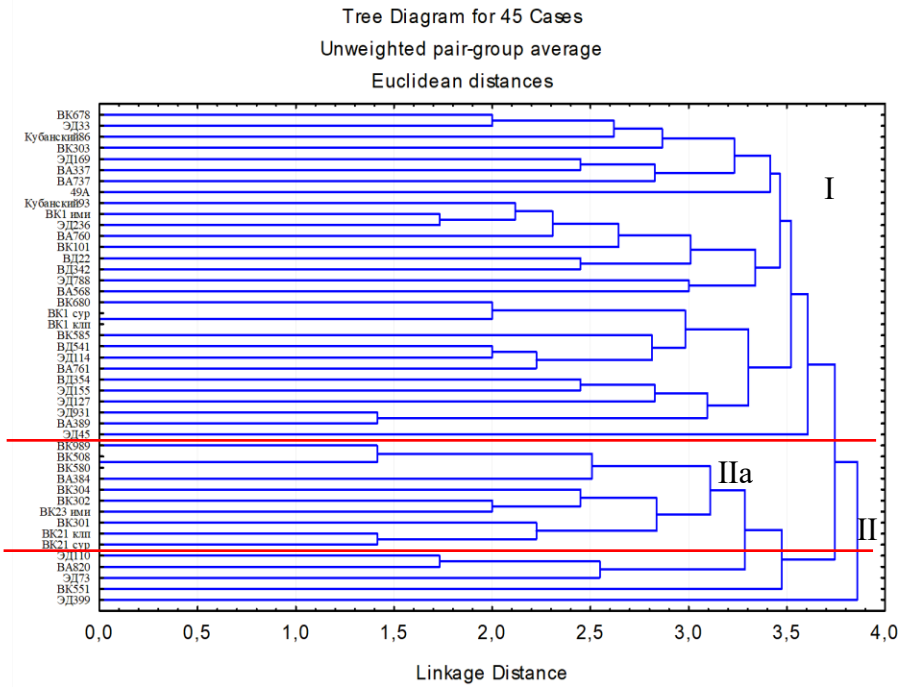


Рис. 5. **Дендрограмма генетических расстояний между линиями подсолнечника объединённой коллекции ВНИИМК, построенная методом UPGMA по результатам анализа полиморфизма 12 SSR-локусов /**

Fig. 5. **Dendrogram of genetic distances between the sunflower lines from the combined collection of VNIIMK, constructed by the UPGMA method based on the results of polymorphism analysis of 12 SSR loci**

Отобранные для исследования микросателлитные локусы являются пригодными для оценки генетического разнообразия линий селекции ВНИИМК. Они достаточно равномерно распределены по геному подсолнечника, в основном кодоминантны, имеют от двух до пяти аллелей на локус. Эффективность использования микросателлитов, по сравнению с другими маркерами, подтверждена во многих исследованиях как на подсолнечнике, так и на других культурах [3, 12, 13, 24]. Чтобы понять генетическое разнообразие и его распределение в восьми популяциях для рода цветковых растений *Cedrela balansae*, использовали два молекулярных маркера: семь SSR и 382 полиморфных AFLP. Ожидаемая гетерозиготность He составила 0,643 и 0,222 для SSR и AFLP соответственно и обнаружена высокая корреляция между маркерами AFLP и SSR [24].

Для коллекций инбредных линий, как и ожидалось, наблюдаемая гетерозиготность была очень низкой в каждой изученной группе. Генетическое разнообразие линий как отдельных коллекций, так и объединённой было умеренным (для объединенной коллекции среднее значение He составило 0,500, PIC – 0,434, Na – 3,083). Такие показатели характерны для культивируемого подсолнечника. Например, генетическое разнообразие шести болгарских инбредных линий, оцененное по 18 микросателлитным маркерам, было небольшим (He – 0,42) [25]. При анализе 84 линий-восстановителей фертильности и 32 носителей цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) линий подсолнечника из США, а также популярных индийских родительских линий с помощью 39 пар SSR-праймеров было выявлено 139 аллелей, в среднем 3,56 аллеля на локус, среднее значение He составило 0,45 [16]. При использовании 42 SSR-маркеров для анализа 137 инбредных линий подсолнечника, 13 свободно опыляемых популяций и 20 смешанных популяций из Аргентины Ц. В. Филиппи с соавт. (C. V. Filippi et al.) [3] показали, что индекс He равен 0,51, при среднем количестве аллелей на локус 4,95. Л. С. Жанг с соавт. (L. S. Zhang et al.) [17] использовали 78 SSR-локусов для оценки генетической изменчивости среди набора из 124 инбредных линий подсолнечника, включавшего 67 стерильных и 57 восстановителей фертильности. Авторы выявили в общей сложности 276 аллелей, в среднем 3,5 аллеля на локус.

Индекс полиморфного информационного содержания на локус варьировал от 0,06 до 0,81 при среднем значении 0,51. Некоторую однородность среди линий международных селекционных центров INTA, INRA, USDA-UBC и узкую генетическую базу для современной селекции подсолнечника отмечали в своих исследованиях Ц. В. Филиппи с соавт. (C.V. Filippi et al.) [2]. Более значительные показатели генетического разнообразия были выявлены среди 42 генотипов подсолнечника молдавской селекции. С использованием 10 пар микросателлитных праймеров в коллекции было идентифицировано в среднем 17,9 аллелей на локус, среднее значение PIC составило 0,89 [14]. Несмотря на некоторые исключения, в целом очевиден невысокий уровень генетического разнообразия культивируемого подсолнечника.

Анализ структуры популяции, проведённый нами для линий из разных селекционных программ ВНИИМК, продемонстрировал, что различия между ними объясняют лишь небольшую часть общей генетической изменчивости. Большая часть изменчивости приходится на различия между линиями. Кластерный анализ не показал прямого соответствия между генетической дифференциацией и происхождением образцов. На дендрограммах видно сходство некоторых генотипов. Минимальные генетические дистанции у линий ЦЭБ ниже (0,0), чем у образцов АОС (2,2) и ДОС (1,5). Для линий ЦЭБ, ДОС и АОС ВНИИМК была характерна группировка материнских и отцовских линий в отдельные кластеры или субкластеры. У объединённой коллекции в один из субкластеров сгруппировались отцовские формы гибридов ЦЭБ ВНИИМК. Линии восстановители фертильности (Rf) и линии с ЦМС зачастую на дендрограммах образуют общие кластеры [15, 17, 26]. Однако есть и исключения. В исследованиях К. Т. Рамя с соавт. (K. T. Ramya et al.) [16] дендрограмма, построенная по результатам анализа 116 линий подсолнечника из США и Индии с использованием 39 SSR-праймеров и основанная на матрице коэффициентов различия, сгруппировала линии ЦМС и Rf в отдельные кластеры, за исключением кластера А, который состоял из линий ЦМС и пяти линий Rf. Поскольку эффект гетерозиса, чаще всего, наблюдается при скрещивании генетически различающихся родительских форм, полученные нами дендрограммы генетических дистанций, в основном, показывают отличия между родительскими формами гибридов. Это тенденция меньше заметна на дендрограмме для объединенной коллекции. По-видимому, различия между линиями разных коллекций превалируют между различиями по признаку принадлежности к типу родительской формы гибрида. Вместе с тем, коллекции линий отдельных селекционных программ не накопили достаточно много изменений, чтобы формировать отдельные кластеры на общей дендрограмме.

Полученные результаты свидетельствуют об умеренном генетическом разнообразии изученных линий ВНИИМК и о существовании небольших различий между коллекциями. Изученные линии объединённой коллекции представляют собой ценный генетический пул в качестве исходного материала. Используя эти данные, можно отбирать разнородный материал из разных коллекций и обмениваться им, проводить направленные скрещивания наиболее отдаленных по генетическим дистанциям генотипов.

Заключение. Все селекционные линии ДОС ВНИИМК и АОС ВНИИМК имеют уникальные генотипы по 12 микросалеллитным локусам. В коллекции ЦЭБ ВНИИМК идентичными генотипами обладают линии-аналоги. Основные показатели генетической изменчивости для всех коллекций незначительно отличались друг от друга и были умеренными. Средние величины показателей генетического разнообразия, в основном, увеличивались в ряду коллекций ВНИИМК: АОС – ДОС – ЦЭБ – объединённая коллекция. Число общих аллелей между разными коллекциями составило 23. Различия между программами селекции объясняют лишь малую часть общей генетической изменчивости, большая часть изменчивости приходится на различия между линиями.

References

1. Hübner S., Bercovich N., Todesco M., Mandel J. R., Odenheimer J., Ziegler E., Lee J. S, Baute G. J., Owens G. L., Grassa C. J., Ebert D. P., Ostevik K. L., Moyers B. T., Yakimowski S., Masalia R. R., Gao L., Ćalić I., Bowers J. E., Kane N. C., Swanevelder D. Z. H., Kubach T., Muños S., Langlade N. B., Burke J. M., Rieseberg L. H. Sunflower pan-genome analysis shows that hybridization altered gene content and disease resistance. Nature Plants. 2019;5:54-62. DOI: https://doi.org/10.1038/s41477-018-0329-0

2. Filippi C. V., Merino G. A., Montecchia J. F., Aguirre N. C., Rivarola M., Naamati G., Fass M. I., Álvarez D., Di Rienzo J., Heinz R. A., Contreras Moreira B., Lia V. V., Paniego N. B. Genetic diversity, population structure and linkage disequilibrium assessment among international sunflower breeding collections. Genes. 2020;11(3):283. DOI: https://doi.org/10.3390/genes11030283

3. Filippi C., Aguirre N., Rivas J. G., Zubrzycki J., Puebla A., Cordes D., Moreno M. V., Fusari C. M., Alvarez D., Heinz R. A., Hopp H. E., Paniego N. B., Lia V. V. Population structure and genetic diversity characterization of a sunflower association mapping population using SSR and SNP markers. BMC Plant Biology. 2015;15:52. URL: https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-014-0360-x

4. Paniego N., Echaide M., Muñoz M., Fernández L., Torales S., Faccio P., Fuxan I., Carrera M., Zandomeni R., Suárez E. Y., Hopp H. E. Microsatellite isolation and characterization in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Genome. 2002;43:34-43. DOI: https://doi.org/10.1139/g01-120

5. Tang S., Yu J-K., Slabaugh B., Shintani K., Knapp J. Simple sequence repeat map of the sunflower genome. Theoretical and Applied Genetics. 2002;105:1124-1136. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-002-0989-y

6. Yu J., Tang S., Slabaugh M. B., Heesacker A., Cole G., Herring M., Sopeer J., Han F., Chu W.-C., Webb D. M., Thompson L., Edwards K. J., Berry S., Leon A. J. Towards asaturated molecular genetic linkage map for cultivated sunflower. Crop Science. 2002;43(1):367-387. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2003.0367

7. Goryunova S. V., Goryunov D. V., Chernova A. I., Martynova E. U., Boldyrev S. V., Ayupova A. F., Mazin P. V., Gurchenko E. A., Pavlova A. S., Petrova D. A., Dmitriev A. E., Chebanova Y. V., Gorlova L. A., Demurin Y. N., Garkusha S. V., Mukhina Z. M., Savenko E. G. Genetic and phenotypic diversity of the sunflower collection of the Pustovoit All-Russia Research Institute of Oil Crops (VNIIMK). Helia. 2019;42(70):45-60. DOI: https://doi.org/10.1515/helia-2018-0021

8. Celik I., Bodur S., Frary A., Doganlar S. Genome-wide SNP discovery and genetic linkage map construction in sunflower (*Helianthus annuus* L.) using a genotyping by sequencing (GBS) approach. Molecular Breeding. 2016;36(9): 133. DOI: https://doi.org/10.1007/s11032-016-0558-8

9. Corbi J., Baack E. J., Dechaine J. M., Seiler G., Burke J. M. Genome-wide analysis of allele frequency change in sunflower crop-wild hybrid populations evolving under natural conditions. Molecular ecology. 2018;27(1):233-247. DOI: https://doi.org/10.1111/mec.14202

10. Guichoux F., Lagache L., Wagner S., Chaumeil P., Le Ger P., Lepais O., Lepoittevin C., Malausa T., Revardel E., Salin F., Petit R. J. Current trends in microsatellite genotyping. Molecular Ecology Resources. 2011;11(4):591-611. https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2011.03014.x

11. Van Inghelandt D., Melchinger A. E., Lebreton C., Stich B. Population structure and genetic diversity in a commercial maize breeding program assessed with SSR and SNP markers. Theoretical and Applied Genetics. 2010;120:1289-99. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-009-1256-2

12. Würschum T., Langer S. M., Longin C. F. H., Korzun V., Akhunov E., Ebmeyer E., Schachschneider R., Schacht J., Kazman E., Reif J. C. Population structure, genetic diversity and linkage disequilibrium in elite winter wheat assessed with SNP and SSR markers. Theoretical and Applied Genetics. 2013;126:1477-1486. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-013-2065-1

13. Hamblin M. T., Warburton M. L., Buckler E. S. Empirical comparison of simple sequence repeats and single nucleotide polymorphisms in assessment of maize diversity and relatedness. PLoS One. 2007;2(12):e1367. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001367

14. Duca M., Port A., Cucereavî A., Șestacova T. SSR markers assessment in estimation of genetic polymorphism in sunflower. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences. 2015;(1):70-77. URL: https://ijarbs.com/pdfcopy/jan2015/ijarbs10.pdf

15. Ahmed H. G. M.-D., Rizwan M., Naeem M., Khan M. A., Baloch F. S., Sun S., Gyuhwa C. Molecular characterization and validation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids through SSR markers. PLoS ONE. 2022;17(5):e0267383. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267383

16. Ramya K. T., Vishnuvardhan Reddy A., Sujatha M. Agromorphological and molecular analysis discloses wide genetic variability in sunflower breeding lines from USDA, USA. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2019;79(02):444-452. DOI: https://doi.org/10.31742/IJGPB.79.2.8

17. Zhang L. S., Clerc V. Le, Li S., Zhang D. Establishment of an effective set of simple sequence repeat markers for sunflower variety identification and diversity assessment. Canadian Journal of Botany. 2005;83(1):66-72. DOI: https://doi.org/10.1139/b04-155

18. Гучетль С. З., Зайцев Н. И., Фролов С. С., Фролова И. Н., Кузнецова Е. С. Генотипирование инбредных линий и гибридов подсолнечника селекции армавирской опытной станции ВНИИМК с помощью микросателлитных локусов. Масличные культуры. 2019;(3(179)):27-34. DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-3-179-27-34 EDN: DRHVMR

Guchetl S. Z., Zaitsev N. I., Frolov S. S., Frolova I. N., Kuznetsova E. S. Genotyping of sunflower inbred lines and hybrids bred at the Armavirskaay experimental station using SSR-loci. *Maslichnye kul'tury* = Oil crops. 2019;(3(179)):27-34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-3-179-27-34

19. Гучетль С. З., Антонова Т. С., Арасланова Н. М., Челюстникова Т. А., Питинова Ю. В. Молекулярно-генетическое разнообразие коллекции 14 линий – доноров устойчивости подсолнечника к расе G заразихи на основе изоферментных и SSR-локусов. Масличные культуры. 2022;(1(189)):3-10. DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2022-1-189-3-10 EDN: FBODCY

Guchetl S. Z., Antonova T. S., Araslanova N. M., Chelyustnikova T. A., Pitinova Yu. V. Molecular-genetic diversity of the collection of 14 sunflower lines – donors of resistance to broom-rape race G based on isoenzymes and SSR-loci. *Maslichnye kul'tury* = Oil crops. 2022;(1(189)):3-10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25230/2412-608X-2022-1-189-3-10

20. Saghai-Maroof M. A., Soliman K. M., Jorgensen R. A., Allard R. W Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics PNAS USA. 1984;81(24):8014-8018. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.81.24.8014

21. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. Bioinformatics. 2012;28(19):2537-2539. URL: https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460

22. Binkowski J., Miks S. Gene-Calc [computer software]. URL: https://gene-calc.pl/pic

23. Mandel J. R. Dechaine J. M., Marek L. F., Burke J. M. Genetic diversity and population structure in cultivated sunflower and a comparison to its wild progenitor, *Helianthus annuus* L. Theoretical and Applied Genetics. 2011;123(5):693-704. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-011-1619-3

24. Soldati M. C. Fornes L., Van Zonneveld M., Thomas E., Zelener N. An assessment of the genetic diversity of *Cedrela balansae* C. DC. (*Meliaceae*) in Northwestern Argentina by means of combined use of SSR and AFLP molecular markers. Biochemical Systematics and Ecology. 2013;47:45-55. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.10.011

25. Hvarleva Tz., Bakalova A., Chepinski I., Hristova-Cherbadji M., Hristov M., Atanasov A. Characterization of Bulgarian sunflower cultivars and inbred lines with microsatellite markers. Biotechnology and Biotechnological Equipment. 2007;21(4):408-412. DOI: https://doi.org/10.1080/13102818.2007.10817484

26. Челюстникова Т. А. Полиморфизм микросателлитных локусов в генотипах культурного и дикорастущего подсолнечника. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2008;(2(139)):19-22.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12224193 EDN: KHNBGR

Chelyustnikova T. A. Polymorphism of microsatellite loci in inbred lines of cultivated sunflower and some its wild species. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2008;(2(139)):19-22. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12224193

Сведения об авторах

✉ **Гучетль Саида Заурбиевна**, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических исследований, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», ул. им. Филатова, д. 17, г. Краснодар, Российская Федерация, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2193-5230**, e-mail: saida.guchetl@mail.ru

Головатская Анна Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», ул. им. Филатова, д. 17, г. Краснодар, Российская Федерация, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8355-3150**

Рамазанова Светлана Алексеевна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», ул. им. Филатова, д. 17, г. Краснодар, Российская Федерация, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1336-7074**

Волошко Анастасия Александровна, лаборант-исследователь лаборатории молекулярно-генетических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», ул. им. Филатова, д. 17, г. Краснодар, Российская Федерация, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5617-2862**

Information about the authors

✉ **Saida Z. Guchetl**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Molecular Genetic Research, leading researcher, V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Filatov st., 17, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2193-5230**, e-mail: saida.guchetl@mail.ru

Anna V. Golovatskaya, junior researcher, the Laboratory of Molecular Genetic Research, V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Filatov st., 17, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8355-3150**

Svetlana A. Ramazanova, PhD in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Molecular Genetic Research, V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Filatov st., 17, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1336-7074**

Anastasiya A. Voloshko, laboratory researcher, the Laboratory of Molecular Genetic Research, V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Filatov st., 17, Krasnodar, Russian Federation, 350038,
e-mail: vniimk@vniimk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5617-2862**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193
УДК 633.174:58.032.3

(cc) BY

Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго

© 2023. О. П. Кибальник✉, Т. В. Ларина, О. Б. Каменева
ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», г. Саратов, Российская Федерация

В настоящее время селекционеры достаточно часто используют методы многомерной статистики для обработки большой совокупности экспериментальных данных. В данной статье для характеристики селекционной ценности 20 линий сорго с цитоплазматической мужской стерильностью (ЦМС-линий) в засушливых условиях возделывания применили кластерный анализ, позволяющий сгруппировать их в кластеры по схожим показателям из 15 анализируемых хозяйственно ценных и физиологических признаков. Испытания проводили в течение 2019-2021 гг., различающихся по метеорологическим условиям: гидротермический коэффициент составил 0,59-0,84 за период вегетации растений. ЦМС-линии высевали с густотой стояния 100 тысяч растений на 1 гектар. Оценку селекционных и физиологических признаков проводили по общепринятым методикам. Для дальнейшей практической работы по результатам проведенных исследований выделены четыре ЦМС-линии сорго зернового (кластеры 2, 3, 5) по комплексу физиологических и селекционных признаков. Стерильные линии (А2 Восторг, М35-1А Пищевое 614, А3 Фетерита 14 и А2 КВВ 114) отличались наибольшей урожайностью семян (3,02-3,50 т/га), высокой оводненностью (72,7-73,7 %) и водоудерживающей способностью листьев (72,2-84,3 %), низким водным дефицитом (6,5-8,7 %). Изучение потери влаги в процессе естественного увядания листьев подтвердило высокую устойчивость к засухе в фазу «цветение» стерильной линии А2 КВВ 114, у которой интенсивность потери влаги через 1 ч составила всего 9,9 %, 1,5 ч – 15,8 % и 24 ч – 68,6 %. В селекции на повышение засухоустойчивости следует обратить внимание на ЦМС-линию А1 Ефремовское 2 (6 кластер), которая уступила вышеописанным линиям только по показателю водного дефицита (16,5 %), свидетельствующего о средней засухоустойчивости. Линия является наиболее высокорослой с крупными листьями (длина – 46,7 см, площадь – 163,8 см^2) и в среднем формирует 3,21 т/га семян за представленный период. Использование полученных данных способствует ускорению селекционного процесса по созданию продуктивных засухоустойчивых гибридов F1 сорго.

Ключевые слова: *ЦМС-линии, кластеризация, оводненность, водный дефицит, урожайность, зерно, биомасса*

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства сельского хозяйства РФ (тема №123020800159-3) и тематического плана ФГБНУ РосНИИСК «Россорго».

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б. Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):187-193.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193

Поступила: 30.01.2023 Принята к публикации: 17.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Breeding value of drought-resistant sterile sorghum lines

© 2023. Oksana P. Kibalnik✉, Tatyana V. Larina, Olga B. Kameneva
Federal State Government-Funded Research Institution Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, Saratov, Russian Federation

Currently, breeders often use multidimensional statistics methods to process a large set of experimental data. To characterize the breeding value of 20 sorghum lines with cytoplasmic male sterility (CMS lines) under arid cultivation conditions, during the research there was applied a cluster analysis, allowing to group the lines into clusters according to similar indicators from 15 analyzed agronomic and physiological characteristics. The studies were carried out during 2019-2021, various in meteorological conditions: the hydrothermal coefficient was 0.59-0.84 during the vegetation period of plants. Cytoplasmic male sterility lines were sown at a density of 100 thousand plants per 1 hectare. Breeding and physiological traits were evaluated according to generally accepted methods. The assessment of agronomic and physiological characteristics was carried out according to generally accepted methods. For further practical work, based on the results of the conducted studies, four CMS lines of grain sorghum (clusters 2, 3, 5) were identified according to a complex of physiological and breeding characteristics. Sterile lines (A2 Vostorg, M35-1A Pischevoe 614, A3 Feterita 14 and A2 KVV 114) were distinguished by the highest seed yield of 3.02-3.50 t/ha, high water content (72.7-73.7 %) and water retention capacity of leaves (72.2-84.3 %), low water deficiency (6.5-8.7 %). The study of moisture loss during the natural wilting of leaves confirmed the high resistance to drought in the flowering phase of the sterile A2 KVV 114 line, in which the intensity of moisture loss after 1 hour was only 9.9 %, 1.5 h – 15.8 % and 24 h – 68.6 %. In breeding for increasing drought resistance the CMS-line A1 Efremovskoe 2 (the sixth cluster) should be noted, as it was inferior to the above-described lines only in terms of low water deficiency (16.5 %), indicating average drought resistance. The line is the tallest with large leaves (length – 46.7 cm, area – 163.8 cm^2) and form 3.21 t/ha of seeds on average for the period presented. The use of the obtained data provides the increasing of the breeding process for the creation of productive drought-resistant F1 sorghum hybrids.

Keywords: *CMS lines, clustering, hydration, water scarcity, yield, grain, biomass*

***Acknowledgements**:* The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (theme No. 123020800159-3) and the thematic plan of the Russian Research Design and Technology Institute of Sorghum and Corn.

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

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

For citation: Kibalnik O. P., Larina T. V., Kameneva O. B. Breeding value of drought-resistant sterile sorghum lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):187-193. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193

Received: 30.01.2023 Accepted for publication: 17.03.2023 Published online: 25.04.2023

Зерновое сорго является одной из важных сельскохозяйственных культур с широким спектром направления использования: кормовое, техническое и пищевое. Эта культура характеризуется способностью формировать достаточно высокие урожаи зерна и биомассы, даже на почвах с низким плодородием в острозасушливых условиях. Селекционерами проведена большая работа по выведению сортов и гибридов сорго, итогом которой стало включение в Государственный реестр РФ 140 селекционных достижений[1]. При этом гибриды F1 составляют 11,4 % (всего 16) от зарегистрированных объектов селекционных достижений. В этой связи создание гибридов F1 сорго с высоким адаптивным потенциалом в настоящее время остается актуальной задачей.

Выведение гибридов сорго основано на включении в скрещивания материнской формы на основе стерильной цитоплазмы и отцовской – восстановителя фертильности (сортов или линий) [1]. Поэтому важным этапом в селекции на гетерозис является изучение компонентов скрещиваний по комплексу признаков (фенологических, физиологических, биологических, морфологических и элементов продуктивности). Обработать одновременно большой массив экспериментальных данных достаточно сложно, и этот процесс занимает длительное время. Использование методов многомерной статистики значительно облегчает задачу селекционерам и позволяет более точно подобрать исходный материал. Одним из таких методов является кластерный анализ, получивший распространение при изучении генофонда многих сельскохозяйственных культур – тритикале [2], пшеницы [3], кукурузы [4], гороха [5], нута [6] и других.

Цель исследований – оценка проявления засухоустойчивости и хозяйственно ценных признаков у ЦМС-линий зернового сорго для получения стрессоустойчивых гибридов F1.

Новизна исследований – впервые по результатам трехлетних испытаний коллекция ЦМС-линий зернового сорго разделена на кластеры, схожие по комплексу физиологических и агрономических признаков материнских форм.

Материал и методы. В качестве объектов исследований использовали 20 стерильных линий сорго с разными типами ЦМС (А1 Карлик 4в, А2 Карлик 4в, А3 Карлик 4в, А5 Карлик 4в и А6 Карлик 4в; А1 О-Янг 1; М35-1А Пищевое 614 и 9Е Пищевое 614; А2 Кремовое; А4 КП 70; А2 Тамара; А2 КВВ 181; А2 Восторг; А3 Фетерита 14; А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10; А2 Судзерн; А2 КВВ 114 и А1 Ефремовское 2), ежегодно высеваемых на опытном поле института во 2-3 декадах мая в течение 2019-2021 гг. Площадь делянки – 7,7 м^2. Густота стояния растений составила 100 тыс. шт/га. Повторность трехкратная. Оценку показателей хозяйственных (высота растений, длина соцветия, параметры наибольшего листа, урожайность семян и биомассы) и физиологических признаков (оводненность тканей листьев, водный дефицит, водоудерживающая способность, потеря влаги листьями в течение суток: через 1 ч, 1,5 ч, 24 ч и в среднем за 1 ч в сутки) проводили согласно общепринятым методикам[2]. Параметры водного режима наибольшего листа сорго определяли в фазу «цветение» с 4-5 растений каждой линии в двух повторениях.

Для определения оводненности тканей (ОТ) листья высушивали в термостате при температуре 105 ºС до постоянной массы. Количество воды в процентах от сырой массы навески определяли по формуле:

$$ОТ = ((а - б) / а) \times 100,$$

где а – масса сырой навески, г; б – масса сухой навески, г.

[1]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том I. Сорта растений. М.: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. С. 65-67. URL: https://gosreestrrus.pdf

[2]Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Под общ. редакцией Г. В. Удовенко. Л.: Изд-во ВИР, 1988. 227 с.; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Изд-во Агропромиздат, 1985. 267 с.

Потерю воды (ПВ) листьями в процентах определяли через 1 час, 1,5 и 24 часа путем взвешивания листьев в лаборатории на электронных весах, затем проводили расчет показателя по формуле:

$$ПВ = (B / A) \times 100,$$

где В – потеря воды за определенный промежуток времени, г; А – содержание воды в листьях до начала опыта, г.

Для определения водного дефицита (ВД) листья помещали в сосуд с водой и накрывали. После 24-часового насыщения листья промокали фильтровальной бумагой и взвешивали.

$$ВД = (M_2 - M_1) \times 100 / (M_2 - M_3),$$

где M_1 – масса листьев до насыщения водой, г; M_2 – масса листьев после 24-часового насыщения, г; M_3 – масса сухой навески, г.

Оценку засухоустойчивости линий сорго анализировали согласно классификации (табл. 1).

Таблица 1 – **Шкала оценки параметров водного режима листьев для определения относительной засухоустойчивости (Павловская опытная станция ВИР)[3], %/**
Table 1 – **The scale of evaluation of the parameters of the water regime of leaves to determine the relative drought resistance (Pavlovskaya experimental station VIR)[3], %**

Оценка засухоустойчивости / Assessment of drought resistance	*Оводненность листьев / Leaf water content*	*Водный дефицит / Water deficiency*	*Потеря воды листьями / Water loss by leaves*	
			после увядания / after wilting	*средняя за 1 ч увядания / average for 1 h of wilting*
Низкая / Low	59,5 и менее / 59.5 and less	20,1 и более / 20.1 and more	50,1 и более / 50.1 and more	11,1 и более / 11.1 and more
Средняя / Average	60,0-69,9	10,1-20,0	30,1-50,0	10,1-11,0
Высокая / High	70,0 и более / 70.0 and more	до 10,0 / up to 10.0	до 30,0 / up to 30.0	до 10,0 / up to 10.0

Климатические условия исследуемого периода вегетации растений сорго отличались невысоким гидротермическим коэффициентом (ГТК), который варьировал в интервале 0,59-0,84. Наиболее засушливым был 2019 г. Режим влагообеспеченности определяли и за период «всходы-цветение» материнских форм. Установлено, что период данной фенофазы в 2019 г. также отличался острозасушливыми условиями (ГТК = 0,50) по сравнению с 2020-2021 гг. (ГТК = 0,63-0,74).

Статистическая обработка экспериментальных результатов исследований выполнена методами кластерного анализа по минимуму евклидового расстояния с помощью программы «Агрос 2.09».

Результаты и их обсуждение. В настоящее время отмечается учащение проявления засух и повышение среднесуточных температур воздуха в период вегетации сельскохозяйственных культур [7]. В сложившихся климатических условиях селекционную ценность исходного материала важно определять не только по хозяйственно ценным признакам, но и физиологическим, в том числе отражающим засухоустойчивость. К таким показателям относят параметры водного режима листьев [8, 9]. Следует отметить, что среди образцов сорго встречаются генотипы с хорошей переносимостью стресса на одной из стадий развития, тогда как в другой фенологический период этот образец может быть восприимчив к засухе [10]. В литературе отмечено, что наступление засухи в начальный период развития растений приводит к снижению темпов роста и развития, а во время и после фазы «цветение» способствует частичной или полной потере урожайности зерна [11, 12, 13]. Поэтому параметры водного режима листьев в наших исследованиях определяли у растений в фазу «цветение».

С целью группировки образцов проведена кластеризация по минимуму эвклидовых расстояний 20 стерильных линий по 15 показателям в среднем за 2019-2021 гг. На 14 шаге итерации (минимум евклидовых расстояний равен 22,30) выделено 6 кластеров (рис.).

Достоверность различий между группами (кластерами) подтверждается результатами дисперсионного однофакторного анализа по большинству представленных признаков (табл. 2).

[3]Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. 1988.

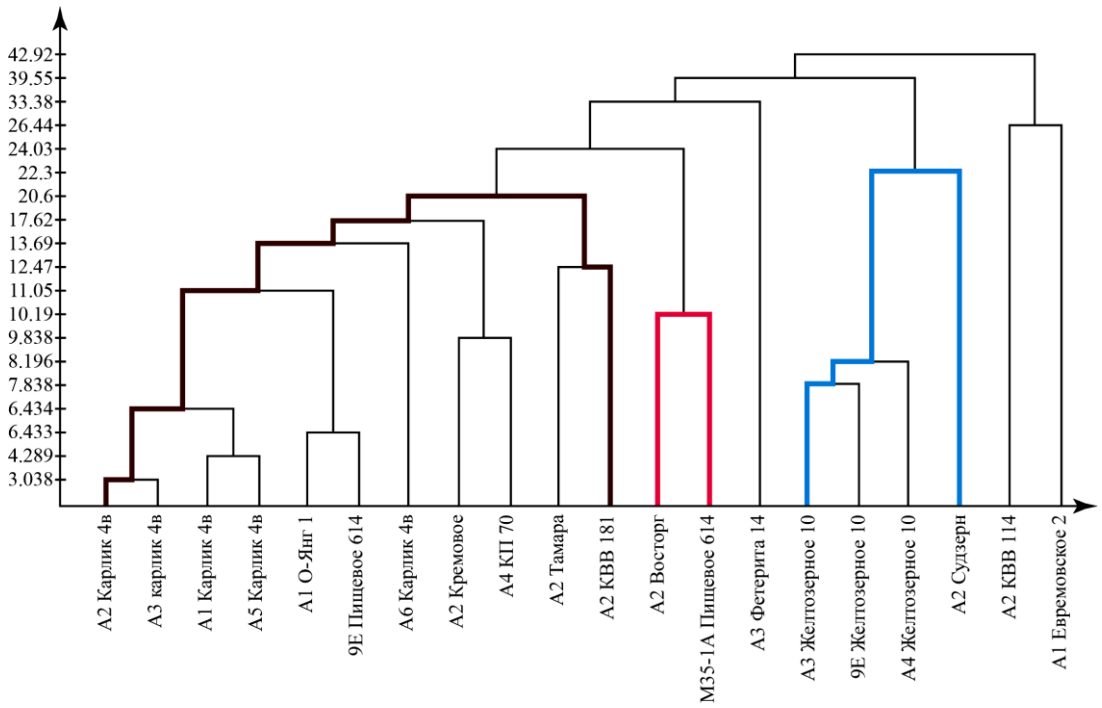


Рис. **Дендрограмма сходства ЦМС-линий сорго по комплексу селекционных и физиологических признаков (среднее за 2019-2021 гг.) /**

Fig. **Dendrogram of similarity of CMS sorghum lines by a complex of breeding and physiological characteristics (average for 2019-2021)**

В первый кластер включены 11 стерильных линий (с геномом Карлик 4в на основе ЦМС-типов А1, А2, А3, А5 и А6; А1 О-Янг 1; 9Е Пищевое 614; А2 Кремовое; А4 КП 70; А2 Тамара; А2 КВВ 181. Растения этой группы низкорослые (85,0 см) и малопродуктивные (урожайность семян – 2,96 т/га, биомассы – 11,23 т/га). Кроме того, среднезасухоустойчивые по показателю водного дефицита (11,4 %) и потерям влаги листьев (от 19,4 до 69,3 %).

Второй кластер представлен двумя низкорослыми ЦМС-линиями (95,9 см) А2 Восторг и М35-1А Пищевое 614 с длинным соцветием (22,2 см) и крупным наибольшим листом (длина – 45,0 см, площадь – 170,6 см^2), семенной продуктивностью – 3,50 т/га. Это засухоустойчивые линии по комплексу признаков: оводненность (73,7 %), водоудерживающая способность (72,2 %) и водный дефицит (7,6 %).

Третий кластер состоит из одной засухоустойчивой и продуктивной стерильной линии А3 Фетерита 14, что подтверждается высокой общей оводненностью (73,7 %) и водоудерживающей способностью листьев (74,9 %), низким водным дефицитом (8,7 %), урожайностью зерна и биомассы – 3,18 и 19,55 т/га соответственно, а также самыми крупными семенами (масса 1000 зерен – 41,2 г).

Четвертый кластер объединяет ЦМС-линии с геномом Желтозерное 10 на основе стерильных цитоплазм А3, А4, 9Е и А2 Судзерн. Это единственная из рабочей коллекции стерильных линий группа, характеризующаяся как среднезасухоустойчивая по трем показателям водного режима листьев: оводненность тканей – 67,8 %, водный дефицит – 13,1 % и водоудерживающая способность листьев – 69,7 %. Растения отличаются длинными и узкими листьями (42,2 и 3,7 см соответственно), крупностью зерна (масса 1000 зерен – 36,5 г).

В пятый кластер вошла наиболее засухоустойчивая и низкорослая линия А2 КВВ 114 (80,7 см) со средней длиной соцветия (20,6 см), у которой оводненность тканей – 72,7 %, самый низкий показатель водного дефицита – 6,5 %, высокая водоудерживающая способность – 84,3 %. Преимуществом данной линии является способность удерживать влагу в процессе естественного увядания. Так, через 1,0-1,5 ч увядания потеря влаги по изучаемой группе ЦМС-линий определена минимальной и составила 9,9-15,8 %.

Шестой кластер состоит из А1 Ефремовское 2, которая несмотря на высокую оводненность тканей листьев (72,2 %) и водоудерживающую способность (81,1 %) отличается наибольшим дефицитом влаги в них (16,5 %).

Таблица 2 – **Показатели физиологических и селекционных признаков ЦМС-линий сорго, включенных в кластеры (среднее за 2019-2021 гг.) /**
Table 2 – **Indicators of physiological and breeding characteristics of CMS sorghum lines included in clusters (average for 2019-2021)**

Кластер / Cluster	*Оводненность, % / Water content, %*	*Водный дефицит, % / Water deficiency, %*	*Водоудерживающая способность, % / Water-retaining capacity, %*	*Потеря влаги листьями, % / Loss of water by leaves, %*			*Высота растений, см / Plant height, см*	*Длина метелки, см / Panicle length, см*	*Площадь листа, см² / Leaf area, см²*	*Длина листа, см / Leaf length, см*	*Ширина листа, см / Leaf width, см*	*Урожайность биомассы, т/га / Biomass yield, t/ha*	*Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha*	*Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g*
				1 ч / hour	*1,5 ч / hour*	*24 ч / hour*	*в среднем за 1 ч/сут / on average for 1 hour/day*							
1	72,8	11,4	70,2	19,4	30,0	69,3	2,9	85,0	21,9	122,3	35,7	4,6	11,23	2,96	28,2
2	73,7	7,6	72,2	19,7	27,8	68,9	2,8	95,9	22,2	170,6	45,0	5,2	11,24	3,50	30,5
3	73,7	8,7	74,9	15,3	25,1	70,4	2,9	103,9	14,2	149,9	37,1	5,5	19,55	3,18	41,2
4	67,8	13,1	69,7	17,9	30,4	64,4	2,7	101,2	17,1	115,6	42,2	3,7	12,88	2,37	36,5
5	72,7	6,5	84,3	9,9	15,8	68,6	2,9	80,7	20,6	121,7	37,8	4,3	13,18	3,02	20,7
6	72,2	16,5	81,1	12,8	18,9	67,4	2,8	111,1	19,4	163,8	46,7	4,7	12,80	3,21	22,8
Среднее / Average	71,9	11,2	71,8	8,1	28,5	68,3	2,8	91,4	20,4	129,2	38,6	4,5	11,51	2,92	30,1
F_{05}	9,71*	5,22*	8,79*	4,30*	10,14*	4,29*	4,51*	1,00	6,31*	7,92*	7,10*	8,67*	1,44	2,87	6,05*
HCP_{05} / LSD_{05}	2,53	3,65	4,95	4,63	4,54	3,48	0,14	–	3,67	24,02	5,42	0,63	–	–	7,47

* $p \leq 0,05$

К положительным физиологическим особенностям данной линии следует отнести и невысокие потери влаги листьями в процессе увядания в сравнении с представителями 1-4 кластеров: 12,8 % – через 1 ч; 18,9 % – через 1,5 ч; 67,4 % – через 24 ч. В условиях исследуемого периода растения ЦМС-линии достигали высоты 111,1 см и формировали хорошую фотосинтезирующую поверхность: длина листа – 46,7 см, площадь – 163,8 см^2.

Известно, что для промышленного выращивания гибридов сорго в засушливых условиях необходимо подбирать родительские формы, устойчивые к факторам внешней среды, в том числе засухе. Устойчивость растений к абиотическим стрессорам обусловлена наличием мощной корневой системы, воскового налета и ксероморфности листьев, а также поддержанием водного баланса в клетках и тканях [14]. Исследователями отмечена различная реакция генотипов сорго на стрессоустойчивость в зависимости от условий выращивания: адаптированные к засушливым и полузасушливым условиям сорта отличаются большей засухоустойчивостью в сравнении с сортами, возделываемыми в более влажных условиях [13, 15]. Ранее нами отмечено, что растения ЦМС-линий проявляли дифференцированную реакцию при изменении метеорологических условий в период цветения на показатели водного режима листьев. Причем, у изоядерных ЦМС-линий с геномом Желтозерное 10 на цитоплазмах типа А3 и 9Е, а также с геномом Карлик 4в на цитоплазме А5 отмечено влияние стерильной цитоплазмы на повышение устойчивости растений [16].

Заключение. На основе данных испытаний 20 ЦМС-линий сорго зернового (2019-2021 гг.) проведен кластерный анализ, который позволил сгруппировать их по сходству проявления селекционных и физиологических признаков. Стерильные линии 2, 3 и 5 кластеров целесообразно включать в гибридизацию для выведения засухоустойчивых гибридов F1 с улучшенными хозяйственно ценными признаками. Четыре стерильные линии, полученные на основе разных типов ЦМС-индуцирующих цитоплазм – А2 Восторг, М35-1А Пищевое 614,

А3 Фетерита 14 и А2 КВВ 114, – характеризуются высокой оводненностью (72,7-73,7 %) и водоудерживающей способностью листьев (72,2-84,3 %), а также низким водным дефицитом (6,5-8,7 %) в критическую для сорго фазу «цветение». Кроме того, у стерильной линии А2 КВВ 114 выявлена низкая интенсивность потери влаги листьями в процессе естественного увядания: через 1 ч – 9,9 %, 1,5 ч – 15,8 % и 24 ч – 68,6 %. Данные ЦМС-линии в засушливых условиях способны формировать 3,02-3,50 т/га семян при общей урожайности биомассы 11,24-19,55 т/га. Полученные сведения следует использовать в дальнейшей практической селекции на повышение засухоустойчивости гибридов сорго зернового.

Список литературы

1. Кибальник О. П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе A1, A2, A3, A4, 9E и M-35-1A типов цитоплазматической мужской стерильности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(6):651-656. DOI: https://doi.org/10.18699/VJ17.282 EDN: ZOFJBF

2. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Гильмуллина Л. Ф., Маннапова Г. С., Хусаинова Н. Ш., Гадальзянова Г. М. Агроэкологическая оценка и кластерный анализ сортов и селекционных линий тритикале Российской селекции. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(6):41-44.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26591641 EDN: WJXNMF

3. Гречишкина О. С., Хутамбирдина Р. Д., Мордвинцев М. П. Изучение генофонда рабочей коллекции яровой мягкой пшеницы по урожайности и структурным элементам урожая с использованием кластерного анализа. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;6(92):24-30.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395367 EDN: KRHWKZ

4. Перевязка Д. С., Перевязка Н. И., Супрунов А. И. Кластерный анализ нового исходного материала для создания раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы. Рисоводство. 2021;4(53):30-35.
DOI: https://doi.org/10.33775/1684-2464-2021-53-4-30-35 EDN: JUAETS

5. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (*af*) и неосыпаемости семян (*def*). Зерновое хозяйство России. 2021;(2(74)):40-44. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44 EDN: DUSXER

6. Вус Н. А., Кобызева Л. Н., Безуглая О. Н. Определение селекционной ценности коллекционных образцов нута (*Cicer arietinum* L.) методом кластерного анализа. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;24(3):244-251.
DOI: https://doi.org/10.18699/VJ20.617 EDN: DDEONR

7. Левицкая Н. Г., Демакина И. И. Современные изменения климата Саратовской области и стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий. Успехи современного естествознания. 2019;(10):7-12.
DOI: https://doi.org/10.17513/use.37206 EDN: GTBQFK

8. Головина Е. В., Зайцев В. Н. Влияние погодных условий на водный режим, пигментный комплекс и продуктивность сои. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(2(18)):111-116.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26280838 EDN: WDCRUP

9. Ионова Е. В., Газе В. Л., Марченко Д. М., Некрасов Е. И. Показатели водного режима растений озимой мягкой пшеницы при различных условиях выращивания. Аграрный вестник Урала. 2014;(10(128)):18-21.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22467808 EDN: SXRGAP

10. Emendack Y., Burke J., Sanchez J., Laza H. E., Hayes C. Agro-morphological characterization of diverse sorghum lines for pre- and post-flowering drought tolerance. Australian Journal of Crop Science. 2018;12(01):135-150.
DOI: https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne790

11. Phuong N., Afolayan G., Soda M. El., Stützel H., Wenzel W., Uptmoor R. Genetic Dissection of Pre-Flowering Growth and development in *Sorghum bicolor* L. Moench under Well-Watered and Drought Stress Conditions. Agrcultural Science. 2014;5(11):923-934. DOI: https://doi.org/10.4236/as.2014.511100

12. Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: a review. African Journal Agricultural Research. 2015;10(31):3029-3040.
DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9595

13. Ионова Е. В., Алабушев А. В. Засухоустойчивость сорго зернового. Европейский журнал социальных наук. 2011;5(8):485-489. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19094429 EDN: QBVXZD

14. Abraha T., Githiri S., Kasili R., Araia W., Nyende A. Genetic Variation amogh Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Landraces from Eritrea under Post-Flowering Drought Stress Conditions. American Journal of Plant Sciences. 2015;6(9):1410-1424.
DOI: https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69141

15. Blum A., Sullivan C. Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid region. Annals of Botany. 1986;57(6):835-846. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087168

16. Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б., Семин Д. С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):9-17.
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17 EDN: BLQLPP

References

1. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(6):651-656. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ17.282

2. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Gilmullina L. F., Mannapova G. S., Khusainova N. Sh., Gadalzyanova G. M. agroecological evaluation and cluster analysis of varieties and breeding lines of russian breeding triticale. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(6):41-44. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26591641

3. Grechishkina O. S., Khutambirdina R. D., Mordvintsev M. P. Study of the gene pool of the working collection of spring soft wheat by yield and structural elements of the yield using cluster analysis. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;6(92):24-30. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395367

4. Perevyazka D. S., Perevyazka N. I., Suprunov A. I. Cluster analysis of a new initial material for the creation of early and medium corn hybrids. *Risovodstvo*. 2021;4(53):30-35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33775/1684-2464-2021-53-4-30-35

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

6. Vus N. A., Kobyzeva L. N., Bezuglaya O. N. Determination of the breeding value of collection chickpea (*Cicer arietinum* L.) accessions by cluster analysis. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;24(3):244-251. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18699/VJ20.617

7. Levitskaya N. G., Demakina I. I. Modern climate characters of the Saratov region and adaptation strategy of breeding and agrotechnologies to them. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2019;(10):7-12. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17513/use.37206

8. Golovina E. V., Zajcev V. N. Influence of weather conditions on a water regime, pigmentary complex and productivity of soya. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2016;(2(18)):111-116. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26280838

9. Ionova E. V., Gaze V. L., Marchenko D. M., Nekrasov E. I. Figures of water regime for mild winter wheat under different growing conditions. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2014;(10(128)):18-21. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22467808

10. Emendack Y., Burke J., Sanchez J., Laza H. E., Hayes C. Agro-morphological characterization of diverse sorghum lines for pre- and post-flowering drought tolerance. Australian Journal of Crop Science. 2018;12(01):135-150.
DOI: https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne790

11. Phuong N., Afolayan G., Soda M. El., Stützel H., Wenzel W., Uptmoor R. Genetic Dissection of Pre-Flowering Growth and development in *Sorghum bicolor* L. Moench under Well-Watered and Drought Stress Conditions. Agrcultural Science. 2014;5(11):923-934. DOI: https://doi.org/10.4236/as.2014.511100

12. Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: a review. African Journal Agricultural Research. 2015;10(31):3029-3040.
DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9595

13. Ionova E. V., Alabushev A. V. Drought resistance of grain sorghum. European Journal of Social Sciences. *Evropeyskiy zhurnal sotsial'nykh nauk* = European Social Science Journal. 2011;5(8):485-489. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19094429

14. Abraha T., Githiri S., Kasili R., Araia W., Nyende A. Genetic Variation amogh Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Landraces from Eritrea under Post-Flowering Drought Stress Conditions. American Journal of Plant Sciences. 2015;6(9):1410-1424.
DOI: https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69141

15. Blum A., Sullivan C. Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid region. Annals of Botany. 1986;57(6):835-846. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087168

16. Kibalnik O. P., Larina T. V., Kameneva O. B., Semin D. S. Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines based on various sterility sources. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding**.** 2021;182(4):9-17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17

Сведения об авторах

✉ **Кибальник Оксана Павловна**, кандидат биол. наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1808-8974**, e-mail: kibalnik79@yandex.ru

Ларина Татьяна Витальевна, научный сотрудник отдела биохимии, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: e-mail: rossorgo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3845-6578**

Каменева Ольга Борисовна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1583-7711

Information about the authors

✉ **Oksana P. Kibalnik,** PhD in Biological Science, chief researcher, the Department of Sorghum Crops, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1808-8974**, e-mail: kibalnik79@yandex.ru

Tatyana V. Larina, researcher, the Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3845-6578**

Olga B. Kameneva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1583-7711**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.194-200
УДК 633.853.52: 631.589.2:631.811

(cc) BY

Выращивание растений сои методом гидропоники

© 2023. В. Т. Синеговская ✉, М. О. Синеговский
ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Российская Федерация

Получение урожая сои в искусственных условиях возможно при разработке приемов, обеспечивающих высокий уровень минерального питания и хорошую освещенность как светолюбивой культуре. В этой связи в задачи исследований входило подбор оптимального субстрата и минерального раствора с соотношением элементов питания, соответствующим биологическим особенностям сои, при обеспечении уровня освещенности растений для активного протекания фотосинтеза и формирования репродуктивных органов при выращивании скороспелого сорта сои Сентябринка. Исследования проводили в лабораторных опытах в 2019-2020 гг. при выращивании растений на гидропонных установках ПГС 2-3. Для условий питания изучено 3 минеральных раствора с различным содержанием элементов питания на двух видах субстрата: верховой торф и минеральная вата в виде кубиков. Для освещения растений использовали лампы люминесцентные OSRAM 36 Вт с контролем интенсивности освещения растений люксметром. Для скороспелого сорта Сентябринка использован уровень освещенности 19 тыс. люкс с продолжительностью светового дня 14 часов, что обеспечило активный рост, развитие и плодоношение растений сои с продуктивностью семян 0,88 г/растение и периодом вегетации 87 дней. Подобран питательный раствор с содержанием минеральных элементов $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л и оптимальный субстрат – кубики из минеральной ваты. Применение минеральной ваты и питательного раствора $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л увеличило у сои количество бобов на 3 шт/раст. по сравнению с выращиванием на торфе, что привело к увеличению вегетационного периода на 3 дня по сравнению с вариантом, где использовали раствор $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л.

Ключевые слова: *продуктивность, рост и развитие, минеральное питание, освещенность, семена, соя*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (тема № 0548-2019-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Синеговская В. Т., Синеговский М. О. Выращивание растений сои методом гидропоники. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):194-200. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.194-200

Поступила: 29.01.2023 Принята к публикации: 13.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Growing soybean plants by hydroponic method

© 2023. Valentina T. Sinegovskaya✉, Mikhail O. Sinegovskii
Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russian Federation

Obtaining soybean yield under artificial conditions is possible when developing techniques that provide a high level of mineral nutrition and good illumination, as it is a light demanding crop. In this regard, the objectives of the research included the selection of optimal nutrient substrate and a mineral solution with a ratio of nutrients corresponding to the biological characteristics of soybeans, ensuring the level of illumination of plants for the active flow of photosynthesis and the formation of reproductive organs when growing an early maturing soybean variety Sentyabrinka. The research was carried out in laboratory experiments in 2019-2020 when growing plants on hydroponic installations PGS 2-3. For nutritional conditions, 3 nutrient solutions with different ratios of elements in solution were studied on two types of substrate: high-moor peat and mineral wadding in the form of cubes. To illuminate the plants, OSRAM 36 W fluorescent lamps were used with the intensity of plant illumination controlled by a light meter. For the early maturing variety Sentyabrinka, an illumination level of 19 thousand lux with a day length of 14 hours was used, which ensured active growth, development and fructification of soybean plants with a seed productivity of 0.88 g/plant and a vegetation period of 87 days. A nutrient solution with a content of mineral elements $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ mg/l and an optimal sub-stratum - mineral wadding cubes were selected. The use of mineral wadding and nutrient solution $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ mg/l increased the number of beans in soybean plants by 3 pcs/plant compared with growing on peat, which led to an increase in the growing season by 3 days compared to the variant where a solution of $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ mg/l was used.

Keywords: *productivity, growth and development, mineral nutrition, illumination, seeds, soybeans*

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 "All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans" (theme No. 0548-2019-0009).

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

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

For citation: Sinegovskaya V. T., Sinegovskii M. O. Growing soybean plants by hydroponic method. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):194-200. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.194-200

Received: 29.01.2023 Accepted for publication: 13.03.2023 Published online: 25.04.2023

Получение нескольких урожаев в год возможно в искусственных условиях при использовании гидропонных установок. Соя – светолюбивая культура короткого светового дня, которая может выращиваться в условиях искусственного освещения при 7-8 тыс. люкс [1]. Для оптимального роста и развития растений влажность почвы должна находиться в пределах 60-80 % ППВ, что в дальнейшем положительно сказывается на урожайности семян [2, 3]. Растения сои хорошо переносят повышенную влажность почвы, при этом увеличивается не только вегетативная масса, но и урожайность семян [4, 5]. Эта особенность позволяет выращивать культуру в условиях гидропоники с получением полноценных семян [6]. Многочисленными опытами доказана также высокая отзывчивость сои на внесение минеральных удобрений [7, 8], которое можно регулировать с помощью некорневых подкормок [9, 10]. У растений отмечается более интенсивный рост и развитие, увеличивается урожайность семян. Основываясь на проведенных ранее исследованиях, считаем, что сою можно выращивать в условиях искусственного климата на гидропонных установках, но для этого необходимо разработать приемы, позволяющие получать полноценные семена.

Цель исследований – подобрать оптимальный субстрат и минеральный раствор с соотношением элементов питания, соответствующим биологическим особенностям сои, обеспечить уровень освещенности растений для протекания фотосинтеза и получения полноценных семян при ее выращивании на гидропонных установках.

Новизна исследований – подобран оптимальный субстрат и питательный раствор для выращивания скороспелого сорта сои методом гидропоники с получением полноценных семян.

Материал и методы. Исследования проводили в 2019-2020 гг. в лабораторных условиях ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои на гидропонной установке ПГС 2-3. Объект исследований – сорт сои Сентябринка, скороспелый (87-99 дней), индетерминантного типа роста с содержанием белка в семенах до 43,8 % и потенциальной урожайностью 2,64 т/га. Сорт характеризуется образованием 2-3 ветвей, растения устойчивы к переувлажнению, грибным и бактериальным болезням[1].

Для определения уровня минерального питания тестировали 3 питательных раствора с различным соотношением элементов (табл. 1). Раствор №1 ($N_{140}P_{38,5}K_{190}Ca_{165}Mg_{30}$ мг/л) принят в качестве контроля, так как он является стандартным для выращивания всех салатных культур на гидропонике. Раствор №2 ($N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л) используется для выращивания овощных культур, раствор №3 ($N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л) – бобовых культур. Растворы №1 и №2 готовили в соответствии с методикой В. А. Чеснокова с соавт.[2], раствор №3 – по М. Бентли[3]. Опыт проводили методом водной культуры по методике З. И. Журбицкого[4].

Все необходимые для питания вещества растения сои получали из искусственного питательного раствора. В качестве субстрата для выращивания растений сои использовали верховой торф, не заправленный удобрениями с добавлением перлита для улучшения пористости, и минеральную вату в виде кубиков. Для более равномерного насыщения волокон минеральной ваты проводили напитку кубиков питательным раствором за сутки до посева семян. Горшочки с торфом напитывали раствором непосредственно перед посевом. В горшочки с торфом объёмом 0,09 л и кубики минеральной ваты объёмом 0,64 л, размером 10×10 см высевали по два семени. После всходов оставляли по одному более сильному растению и в горшочке, и кубике. Плотность расстановки горшочков в начальный и последующий периоды роста сои составляла 15 см между растениями. Повторность в опыте 4-кратная, расположение растений систематическое, по 12 растений на кубиках минеральной ваты и в торфяных горшочках с тремя вариантами питательных растворов, общее количество наблюдаемых растений составило 24 штуки. Для обеспечения устойчивости растений в качестве опоры использовали бамбуковые палочки. Полив проводили методом подтопления питательным раствором, время полива растений определяли весовым способом по методике вегетационного метода М. Бентли[5].

[1]Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Синеговский М. О., Синеговская В. Т., Клеткина О. О. Каталог сортов сои. Благовещенск: ООО ИПК «ОДЕОН», 2021. 69 с.
[2]Чесноков В. А., Базырина Е. Н., Бушуева Т. М., Ильинская Н. Л. Выращивание растений без почвы. Л., 1960. 169 с. URL: http://www.ponics.ru/lib/chesnokov.pdf
[3]Бентли М. Промышленная гидропоника. М., 1965. 819 с.
[4]Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. М., 1968. 260 с.
[5]Бентли М. Указ. соч.

Таблица 1 – **Состав изучаемых питательных растворов для выращивания растений сои на гидропонике /**
Table 1 – **The composition of the studied nutrient solutions for growing soybean plants in hydroponics**

Удобрение / Fertilizer	*Наименование питательного раствора / Name of nutrient solution*		
	№1 для салатных культур (контроль) / №1 for salad crops (control)	*№2 для овощных культур / №2 for vegetable crops*	*№3 для бобовых культур / №3 for leguminous crops*
	Содержание элементов питания в растворе, мг/л / Content of nutrients in solution, mg/l		
	$N_{140}P_{38,5}K_{190}Ca_{165}Mg_{30}$	$N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$	$N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50.}$
	Соотношение элементов к N / The ratio of elements to N		
	1,0:0,28:1,36:1,18:0,21	1,0:0,16:0,13:0,76:0,31	1,0:0,60:1,0:1,4:0,25
	Содержание соли, г/л / Salt content, g/l		
$Ca(NO_3)_2$	1,00	0,50	1,65
KNO_3	0,20	0,13	0,38
$MgSO_4$	0,30	-	0,49
K_2SO_4	0,20	0,28	0,33
KH_2PO_4	0,20	0,13	0,53
$Mg(NO_3)_2$	-	0,50	-
NH_4NO_3	-	0,04	-

Для освещения растений использовали лампы люминесцентные OSRAM 36 Вт, контроль интенсивности освещения растений проводили при помощи прибора люксметр. Освещенность составляла 19 тыс. люкс при условии расположения ламп над макушками растений на уровне 10 см, в среднем ярусе растений – на уровне 7 тыс. люкс. Продолжительность светового дня составляла 14 часов, при котором наблюдался активный рост и развитие растений, формирование бобов и получение семян сои. Ежедневно в течение всего периода вегетации проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием растений с фазы «всходы» до полного созревания семян по методике В. Р. Фэр с соавт. (W. R. Fehr et. al.) [11]. Рост и развитие растений сои изучали в динамике визуально с отметкой фенологических фаз. Статистическая обработка данных методом дисперсионного анализа проведена по Б. А. Доспехову[6].

Результаты и их обсуждение. Вегетативный период у растений не зависел от состава минерального раствора. Различия по срокам наступления фаз роста и развития растений отмечены с фазы «цветение». В варианте с питательным раствором $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ они зацвели на 4 дня позже, чем в контроле и варианте с соотношением элементов $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ (табл. 2).

Фаза «начало образования бобов» в варианте $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ опоздала на 7 дней, далее в течение всего периода выращивания растений сои наблюдалась задержка в наступлении фаз развития в среднем на 7 дней, чем у растений контрольного варианта и $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$. К моменту уборки фаза технической спелости наступила у растений в этом варианте опыта на 3 дня позже, что обусловлено увеличением дозы минерального питания.

В варианте с применением раствора $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ у растений было сформировано большее количество бобов. Статистически значимое превышение относительно контроля составило 0,7 шт/раст. (18,9 %), по сравнению с раствором $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ – 0,4 шт/раст. (10 %) при $НСР_{05}$ = 0,32 (рис. 1). Однако по количеству семян, сформированных на одном растении, тенденция к повышению этого показателя отмечена в варианте $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ ($НСР_{05}$ = 0,57). Таким образом, количество семян на растениях не зависело от состава минерального раствора.

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

Таблица 2 – **Влияние минерального питания на динамику фаз роста и развития растений сои сорта Сентябринка при выращивании на минеральной вате (среднее за 2019-2020 гг.) /**
Table 2 – **The influence of mineral nutrition on the dynamics of the growth and development phases of soybean plants of the Sentyabrinka variety when grown on mineral wadding, average for 2019-2020**

Фаза роста и развития / Phase of growth and development	*Наименование питательного раствора / Name of nutrient solution*		
	№ 1 для салатных культур (контроль) / № 1 for salad crops (control)	*№ 2 для овощных культур / №2 for vegetable crops*	*№ 3 для бобовых культур / №3 for legumes*
	Содержание элементов питания в растворе, мг/л / Content of nutrients in solution, mg/l		
	$N_{140}P_{38,5}K_{190}Ca_{165}Mg_{30}$	$N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$	$N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$
Всходы / Seedlings	22.06.	22.06.	22.06.
Бутонизация / Budding	10.07.	10.07.	10.07.
Массовое цветение / Mass flowering	13.07.	13.07.	17.07.
Начало образования бобов / Start of bean formation	17.07.	17.07.	24.07.
Налив бобов / Bean filling	24.07.	24.07.	29.07.
Налив семян / Seed filling	29.07.	29.07.	6.08.
Физиологическая спелость / Physiological maturity	29.08.	29.08.	6.09.
Техническая спелость / Technical maturity	16.09.	16.09.	19.09.
Продолжительность вегетационного периода, дни / Vegetation period duration, days	87	87	90

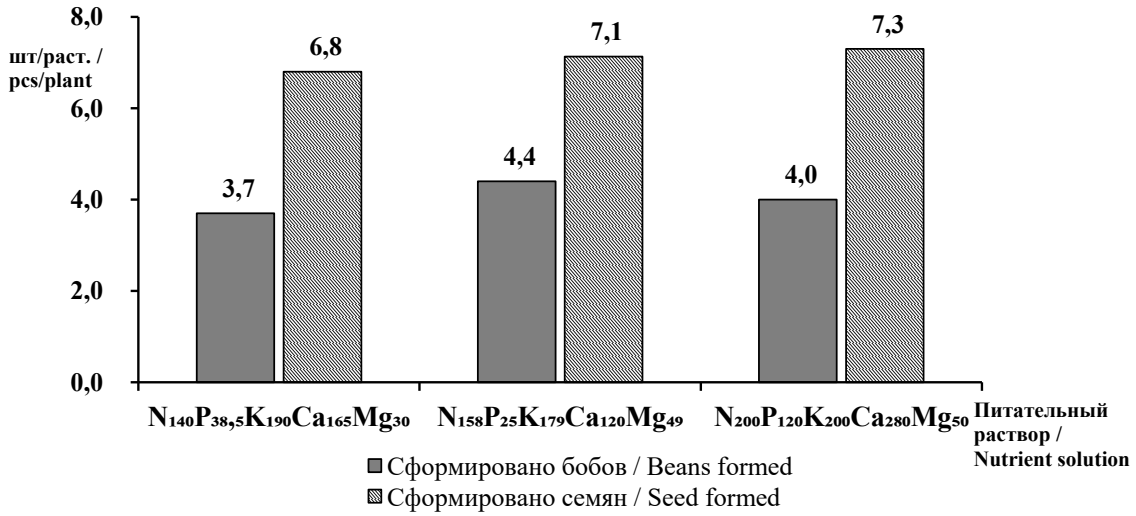


Рис. 1. **Влияние питательного раствора на формирование бобов и семян у сорта сои Сентябринка при выращивании на минеральной вате, шт/растение /**
Fig. 1. **Influence of the nutrient solution on the formation of beans and seeds of the Sentyabrinka variety when grown on mineral wadding, pcs /plant**

Увеличение концентрации элементов минерального питания в растворе способствовало повышению массы семян у растений. В варианте $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ масса семян с одного растения превышала контроль на 0,09 г/раст. (13,2 %), с применением раствора $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ – на 0,20 г/раст. (29,4 %) при $НСР_{05}$ = 0,08 (рис. 2). Следовательно, содержание элементов питания в растворе №2 в большей степени соответствовало физио-

логическим потребностям скороспелого сорта, что подтвердилось семенной продуктивностью растений.

Изучение питательных растворов на субстрате из минеральной ваты показало преимущество двух вариантов – $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ и $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л, поэтому сравнительную оценку субстратов проводили с использованием только этих растворов. При выращивании растений с раствором $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л как на торфе, так и минеральной вате было сформировано больше бобов, чем с $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л (рис. 3).

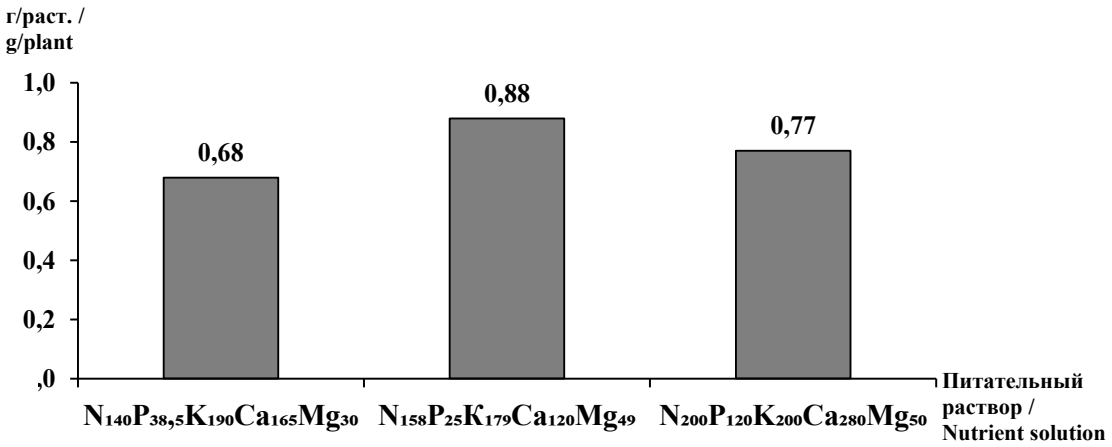


Рис. 2. **Влияние состава питательного раствора на семенную продуктивность сои сорта Сентябринка при выращивании на минеральной вате, г/растение**

Fig. 2. **Influence of the composition of the nutrient solution on the seed productivity of soybean Sentyabrinka variety growing on mineral wadding, g/plant**

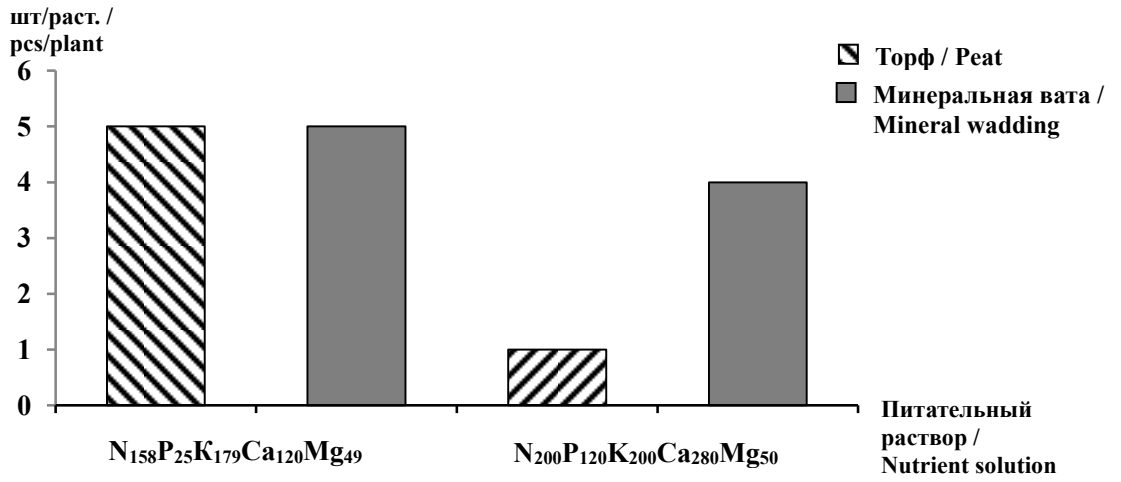


Рис. 3 – **Влияние субстрата на количество бобов у сорта сои Сентябринка при выращивании на торфе и минеральной вате, шт/растение**

Fig. 3 – **Influence of the substrate on the number of beans of the Sentyabrinka soybean variety when grown on peat and mineral wadding, pcs/plant**

Применение минеральной ваты с питательным раствором $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л увеличило количество бобов у сои сорта Сентябринка на 3 шт/раст. по сравнению с выращиванием на торфе, а с использованием раствора $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л этот показатель был одинаков для обоих субстратов.

Анализ используемых субстратов по продуктивности растений выявил преимущество субстрата из минеральной ваты. Масса семян, сформированная растениями, была больше в варианте с минеральной ватой по сравнению с торфом при использовании обоих питательных растворов (рис. 4). В случае с выращиванием растений на растворе $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л этот показатель был выше на 0,10 г/раст. (12,8 %), а на растворе $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л – на 0,30 г/раст. (63,8 %) для субстратов из минеральной ваты по сравнению с торфом при $НСР_{0,5}$ = 0,10 г/раст.

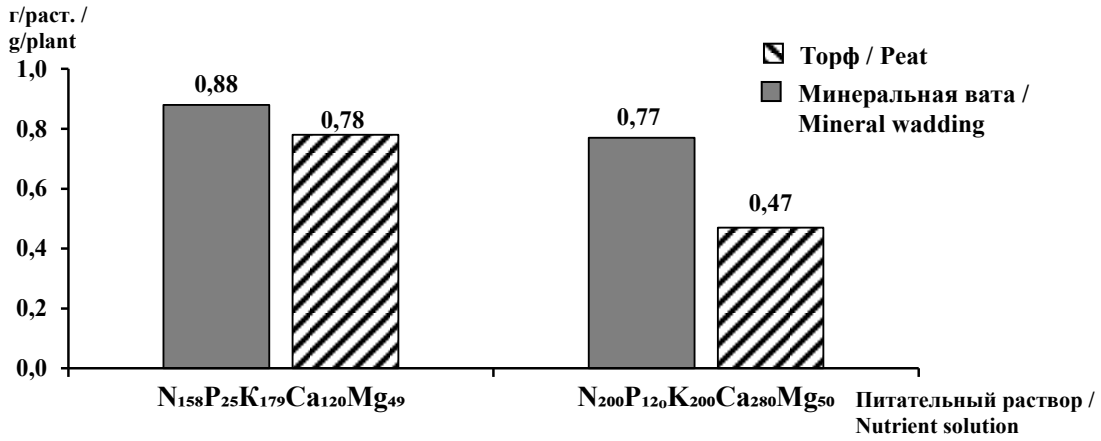


Рис. 4. **Масса семян сои сорта Сентябринка при выращивании на минеральной вате и торфе в зависимости от состава элементов питания в растворе, г/растение /**

Fig. 4. **The mass of soybean seeds of the Sentyabrinka variety, when grown on mineral wadding and peat, depending on the composition of the nutrients in the solution, g/plant**

Таким образом, семенная продуктивность растений сои сорта Сентябринка показала лучшие результаты при выращивании растений на минеральной вате с использованием раствора $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$. Вегетационный период растений при этом составил 87 дней, а питательный раствор с содержанием элементов $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л увеличил продолжительность периода до 90 дней.

Заключение. Для скороспелого сорта сои Сентябринка при выращивании на гидропонной установке ПГС 2-3 с продолжительностью светового дня 14 часов и освещенностью 19 тыс. люкс определен оптимальный субстрат из минеральной ваты и питательный раствор $N_{158}P_{25}K_{179}Ca_{120}Mg_{49}$ мг/л при соотношении элементов питания – 1,0:0,16:1,13:0,76:0,31, что обеспечило период вегетации сои до созревания бобов за 87 дней и продуктивность семян с растения 0,88 г. Создание этих условий способствовало формированию полноценных семян, масса которых была больше на 14,3 % по сравнению с применением раствора $N_{200}P_{120}K_{200}Ca_{280}Mg_{50}$ мг/л. Использование торфяных горшочков в качестве субстрата было менее эффективно по сравнению с кубиками из минеральной ваты.

Список литературы

1. Ващенко А. П., Мудрик Н. В., Фисенко П. П., Дега Л. А., Чайка Н. В., Капустин Ю. С. Соя на Дальнем Востоке. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2010. 435 с.

2. Юст Н. А., Шелковкина Н. С. Влияние орошения на развитие сои в условиях Приамурья. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017;(1(25)):50-65. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28356352 EDN: XWNORF

3. Сотторов О. А., Каххоров А. О., Ачилов Ф. С. Общее потребление воды сортов сои и расход воды на единицу урожая. World science: problems and innovations: сб. статей XXXVI Международ. научно-практ. конф. Пенза: Изд-во "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г. Ю.), 2019. С. 55-57. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41225799 EDN: EGAWJX

4. Ковшик И. Г., Науменко А. В. Климатические и погодные условия юга Амурской области и их влияние на урожайность сои. Дальневосточный аграрный вестник. 2015;(4(36)):8-13. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25808988 EDN: VSUFTV

5. Куст Г. С., Розов С. Ю., Кутузова Н. Д., Болышева Т. Н., Стома Г. В., Макаров И. Б., Цейц М. А., Девин Б. А., Андреева О. В., Марчук Е. В. Почвенно-экологические и агротехнологические особенности выращивания сои на черноземах в Краснодарском крае. Доклады по экологическому почвоведению. 2008;2(9):15-27. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13022511 EDN: KYZGSB

6. Ануфриева И. В. Гидропоника как перспективный способ культивирования и ускорения процесса создания сортов сои. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019;(3(205)):69-72. DOI: https://doi.org/10.25808/08697698.2019.205.3.012 EDN: IFSQPZ

7. Сихарулидзе Т. Д., Храмой В. К. Структура урожая и урожайность сои в зависимости от уровней минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья. Плодородие. 2012;3(66):9-10. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17773492 EDN: OYYJML

8. Наумченко Е. Т., Ковшик И. Г. Влияние погодных условий и минерального питания на продуктивность сои. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014;(12):20-25. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22619251 EDN: TAZKHX

9. Энеев М. Д. Эффективность препаратов листовой подкормки сои на разных фонах минерального питания. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021;(1(99)):64-69.
DOI: https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-1-99-64-69 EDN: CEBBUG

10. Николаева В. Т. Некорневые подкормки сои жидкими комплексными удобрениями. Научно-технический бюллетень СО ВАСХНИЛ. 1980;(21):12-18.

11. Fehr W. R., Caviness C. E., Burmood D. T., Pennington J. S. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max*. (L) Merrill. Crop Science. 1971;11(6):929-930.
DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x

References

1. Vashchenko A. P., Mudrik N. V., Fisenko P. P., Dega L. A., Chayka N. V., Kapustin Yu. S. Soy in the Far East. Vladivostok: *Izd-vo Dal'nauka*, 2010. 435 p.

2. Yust N. A., Shelkovkina N. S. Effect of irrigation on the soybean development in the Amur river region. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2017;(1(25)):50-65. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28356352

3. Sottorov O. A., Kakhkhorov A. O., Achilov F. S. Total water consumption of soybean varieties and water consumption per yield unit. World science: problems and innovations: collection of articles. The 36th International scientific and practical conf. Penza: *Izd-vo "Nauka i Prosveshchenie" (IP Gulyaev G. Yu.)*, 2019. C. 55-57.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41225799

4. Kovshik I. G., Naumenko A. V. Climatic and weather conditions of the southern part of the Amur region and their influence on the soy crop yield. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2015;(4(36)):8-13. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25808988

5. Kust G. S., Rozov S. Yu., Kutuzova N. D., Bolysheva T. N., Stoma G. V., Makarov I. B., Tseyts M. A., Devin B. A., Andreeva O. V., Mar-chuk E. V. Soil, ecological and agro technological aspects of soya bean growing on the chernozem soils in the Kuban region (nothern caucasus). *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu*. 2008;2(9):15-27. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13022511

6. Anufrieva I. V. Hydroponics as a promising way of cultivating and speeding up the process of creating soybean varieties. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 2019;(3(205)):69-72. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25808/08697698.2019.205.3.012

7. Sikharulidze T. D., Khramoy V. K. The yield structure and yielding capacity of soybean depending on mineral nutrition level in the central nonchernozemic zone. *Plodorodie*. 2012;3(66):9-10. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17773492

8. Naumchenko E. T., Kovshik I. G. The effect of weather conditions and mineral nutrition on soybean productivity. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2014;(12):20-25. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22619251

9. Eneev M. D. Efficiency of soybean leaf fertilizing preparations on different backgrounds of mineral feeding. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2021;(1(99)):64-69. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-1-99-64-69

10. Nikolaeva V. T. Foliar top dressing of soybeans with liquid complex fertilizers. *Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' SO VASKhNIL*. 1980;(21):12-18. (In Russ.).

11. Fehr W. R., Caviness C. E., Burmood D. T., Pennington J. S. Stages of development descriptions for soybeans, *Glycine max*. (L) Merrill. Crop Science. 1971;11(6):929-930. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x

Сведения об авторах

✉ **Синеговская Валентина Тимофеевна**, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Игнатьевское шоссе, д. 19, г. Благовещенск, Российская Федерация, 625027, e-mail: info@vniisoi.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9048-3119, e-mail: valsin09@gmail.com

Синеговский Михаил Олегович, кандидат экон. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Игнатьевское шоссе, д. 19, г. Благовещенск, Российская Федерация, 625027, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3045-7258**

Information about the authors

✉ **Valentina T. Sinegovskaya**, DSc in Agricultural Science, professor, academician of RAS, senior researcher, the Laboratory of Plants Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Ignatievskoe shosse, 19, Blagoveshchensk, Russian Federation, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9048-3119, e-mail: valsin09@gmail.com

Mikhail O. Sinegovskii, PhD in Economics, leading researcher, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Ignatievskoe shosse, 19, Blagoveshchensk, Russian Federation, 625027, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3045-7258**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.201-213
УДК 631.527:634.13 (470.54)

(cc) BY

Номенклатурные стандарты сортов груши селекции Свердловской селекционной станции садоводства

© 2023. Л. В. Багмет[1] ✉, Г. Н. Тарасова[2]
[1]*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,*
[2]*ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация*

В рамках работы созданы и обнародованы номенклатурные стандарты 12 сортов груши селекции Свердловской селекционной станции садоводства: Бережёная (WIR-101392), Гвидон (WIR-101393), Добрянка (WIR-101394), Заречная (WIR-101395), Пермячка (WIR-101397), Радужная (WIR-101398), Розовый Бочонок (WIR-101399), Свердловчанка (WIR-101400), Султан (WIR-101402), Талица (WIR-101404), Флейта (WIR-101405), Чусовая (WIR-103944). Растительный материал для номенклатурных стандартов отбирали в коллекции организации-оригинатора при участии авторов этих сортов. Гербарный образец номенклатурного стандарта каждого сорта представлен в основном двумя гербарными листами, на которых размещены части одного растения, собранные в два срока: плоды и однолетние побеги – осенью 2019 года, цветки – весной 2020 года. На 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 и цветов. 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). По тем же правилам оформлены, зарегистрированы и влиты в Основной фонд Гербария ВИР гербарные образцы 3 элитных форм груши (Лимонадная, Сретенская, Таис). После оформления авторских документов на сорта эти образцы могут быть назначены в качестве номенклатурных стандартов. Всего в коллекцию передано 15 образцов в количестве 27 гербарных листов. Цифровое изображение гербарных образцов доступно в базе данных «Гербарий ВИР» (http://db.vir.nw.ru/herbar/gerb).

Ключевые слова: *Pyrus communis* L., *селекционный сорт, Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, Средний Урал, Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR)*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (тема № FGEM-2022-0006) и Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0532-2021-0008).

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследования директору Свердловской селекционной станции садоводства Татьяне Николаевне Слепнёвой, старшему научному сотруднику станции Дмитрию Дмитриевичу Тележинскому, младшему научному сотруднику Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова Анне Владимировне Шлявас.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Багмет Л. В., Тарасова Г. Н. Номенклатурные стандарты сортов груши селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):201-213.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.201-213

Поступила: 03.02.2023 Принята к публикации: 06.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Nomenclatural standards of pear varieties bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station

© 2023. Larisa V. Bagmet[1] ✉, Galina N. Tarasova[2]
[1]*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russian Federation*
[2]*Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russian Federation*

As part of the research there have been developed and published nomenclatural standards of 12 pear varieties bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station: Berezhenaya (WIR-101392), Gvidon (WIR-101393), Dobryanka (WIR-101394), Zarechnaya (WIR-101395), Permyachka (WIR-101397), Raduzhnaya (WIR-101398), Rozovyy Bochonok (WIR-101399), Sverdlovchanka (WIR-101400), Sultan (WIR-101402), Talitsa (WIR-101404), Fleyta (WIR-101405), Chusovaya (WIR-103944). Plant material for nomenclatural standards was selected in the collection of the originator organization with the participation of the creators of these varieties. The herbarium sample of the nomenclature standard of each cultivar is represented mainly

by two herbarium sheets containing parts of one plant collected during two periods: fruit and annual shoots – in the fall 2019, flowers – in the spring 2020. The herbarium label indicates: the herbarium number of the sample in the VIR Herbarium, the scientific name of the species, the name of the variety, the origin (the name of the organization in which the variety was created), the place of reproduction (where the plant was grown), the harvest dates, the names of collectors. Herbarium sheets are supplemented with photos of fruits and flowers. Nomenclatural 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). According to the same rules, herbarium samples of 3 elite pear forms (Limonadnaya, Sretenskaya, Tais) were made, registered and included into the Main Fund of the VIR Herbarium. After registration of copyright documents for cultivars, these samples can be assigned as nomenclatural standards. In total, 27 samples in the amount of 27 herbarium sheets were transferred to the herbarium collection. A digital image of herbarium specimen is available in the database «VIR Herbarium» (http://db.vir.nw.ru/herbar/gerb).

Key words: *Pyrus communis* L., *breeding cultivar; State Register of Breeding Achievements approved for use; Middle Ural; Herbarium of cultivated plants of the world, their wild relatives and weeds*

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 N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources *(*topic No. GEM-2022-0006) and the state assignment of the Ural Federal Agricultural Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (topic No. 0532-2021-0008).

The authors thank Tatyana Nikolaevna Slepneva, the Director of the Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, Dmitry Dmitrievich Telezhinskiy, senior researcher of the Station, Anna Vladimirovna Shlyavas, junior researcher of N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources» for their help in carrying out the research.

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*:** Bagmet L. V., Tarasova G. N. Nomenclatural standards of pear varieties bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):201-213. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.201-213

Received: 03.02.2023 Accepted for publication: 06.03.2023 Published online: 25.04.2023

Согласно Международному кодексу номенклатуры культурных растений (ICNCP) понятие номенклатурного стандарта используется для подтверждения оригинальности сорта сельскохозяйственных, лесных или декоративных растений как селекционного достижения и для защиты авторских прав. Номенклатурным стандартом считается отдельный субъект, предпочтительно гербарный образец, к которому постоянно прикрепляется название сорта или группы [1]. Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) в сотрудничестве с отечественными селекционными учреждениями проводит работу по созданию номенклатурных стандартов российских сортов различных культур: картофеля [2, 3, 4], яблони [5, 6], чёрной смородины [7, 8, 9], малины [10].

Свердловская селекционная станция садоводства с момента ее основания (1935 г.) занимается созданием районированного сортимента плодовых культур для Среднего Урала. Работа по селекции груши была начата П. А. Диброва (1938). От скрещивания дикой уссурийской груши (*Pyrus ussuriensis* Maxim. ex Rupr.) с южными сортами груши обыкновенной (*P. communis* L.) селекционер вывел зимостойкие элитные сеянцы Арабка, Альфа, Бета, Гамма, Дельта, Исетская [11]. Первыми сортами, районированными в Свердловской области, были Поля и Тема селекции А. М. Лукашова (г. Хабаровск, 1947), а также Тихоновка селекции А. С. Тихоновой (ВНИИГиСПР ФНЦ имени И. В. Мичурина, 1959). Первый сорт груши местной селекции Вестница появился в Государственном реестре только в 1988 году[1]. Авторы сорта – П. А. Диброва и Л. А. Котов. Проведение исследований по созданию местных сортов груши было осложнено особенностями климата региона: суровой зимой и коротким вегетационным периодом с низкой суммой активных температур. Согласно агроклиматическому районированию области, сумма положительных температур в районе исследований составляет 1600-1800 °С, продолжительность вегетационного периода – 109…119 дней, безморозного – 90…110 дней, средний минимум температуры воздуха – от -40 до -44 °С[2]. Кроме того, на Среднем Урале не произрастают дикорастущие виды груши, следовательно, полностью отсутствовал генофонд, который мог бы послужить базой для первичных отборов при работе с культурой.

[1]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 3. Сорта растений. М., 2006, 99 с.
[2]Агроклиматические условия Свердловской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1978.

Создание гибридного фонда груши стало первым этапом развития селекции этой культуры в регионе. Его основой стали сеянцы, полученные в результате скрещивания отборных форм уссурийской груши с десертными западноевропейскими сортами. На основании многолетних исследований было установлено, что наиболее перспективным для создания адаптированного сортимента в условиях Среднего Урала является отбор среди гибридов второго, третьего и последующих поколений от этих образцов [12].

В настоящее время гибридный фонд груши на Свердловской селекционной станции садоводства насчитывает около 30 тыс. растений. Над созданием новых сортов груши работают селекционеры Л. А. Котов (с 1966 года), Г. Н. Тарасова (с 1991 года), Д. Д.Тележинский (с 1999 года) [13].

За период 2002-2023 гг. было районировано 11 сортов груши: Бережёная, Гвидон, Добрянка, Заречная, Пермячка, Радужная, Розовый Бочонок, Свердловчанка, Султан, Талица, Чусовая. Сорт Флейта рекомендован для государственного испытания в Волго-Вятском регионе[3] (табл. 1). Все районированные сорта обладают комплексом хозяйственно ценных признаков, важнейшими из них являются высокая зимостойкость и хорошее качество плодов [14, 15, 16, 17].

Цель исследования – создание номенклатурных стандартов сортов груши селекции Свердловской селекционной станции садоводства.

Научная новизна. Впервые в России созданы номенклатурные стандарты сортов Береженая, Гвидон, Добрянка, Заречная, Пермячка, Радужная, Розовый Бочонок, Свердловчанка, Султан, Талица, Флейта, Чусовая. Как оригинальный документ они будут служить эталоном аутентичности каждого сорта и, в случае необходимости, источником растительного материала для его генетической идентификации.

Материал и методы. Работы по созданию номенклатурных стандартов сортов груши отечественной селекции проводили сотрудники Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР) совместно с селекционерами Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразделения ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук». Материалом для исследования послужили сорта (табл. 1) и элитные формы груши (Лимонадная, Сретенская, Таис) из коллекции Свердловской селекционной станции садоводства.

Гербаризацию сортов груши местной селекции проводили в фазах «цветение» (цветки) и «плодоношение» (однолетний побег, плоды) согласно методике ВИР[4] с участием авторов этих сортов (Д. Д. Тележинский, Г. Н. Тарасова).

Для гербария были выбраны части растения, наиболее отражающие признаки сорта. Одновременно проводили фотосъемку цветов и плодов. Авторы фото: Д. Д. Тележинский (цветки), А. В. Шлявас (плоды). Фото сорта Чусовая сделаны Г. Н. Тарасовой и Д. Д. Тележинским. Описания хозяйственных признаков сортов осуществляли по Методике испытаний на отличимость, однородность и стабильность ФГБУ «Государственная комиссия Российской федерации по испытанию и охране селекционных достижений»[5]. Была также проведена оценка сортов на устойчивость к плодовой гнили, т. к. это заболевание является наиболее вредоносным для Среднего Урала.

Номенклатурные стандарты оформлены согласно положениям Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) [1] и протоколу, разработанному в ВИР [18]. Каждый гербарный образец содержит фото плодов и цветов (при их наличии) и заверен подписью эксперта (Д. Д. Тележинский), подтверждающего аутентичность представленного растения.

Результаты и их обсуждение. В результате проведённого исследования оформлены, зарегистрированы и влиты в типовой фонд Гербария ВИР (WIR) номенклатурные стандарты 12 сортов груши (ниже приводим их описания), кроме этого, зарегистрированы и влиты в основной фонд Гербария ВИР гербарные образцы 3 элитных форм груши (Лимонадная, Сретенская, Таис). После оформления авторских документов эти сорта могут быть назначены в качестве номенклатурных стандартов.

[3]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023.
[4]Белозор Н. И. Гербаризация культурных растений: методические указания. Л.: ВИР, 1989. 55 с.
[5]Официальный сайт ФГБУ «Госсорткомиссия». Методики испытаний на ООС: груша. URL: https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-oos-2/ (дата обращения: 22.12.2022).

Таблица 1 – **Сорта груши для создания номенклатурных стандартов и их статус в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию /**
Table 1 – **Pear cultivars for creating nomenclatural standards and their status in the State Register of selection achievements approved for use**

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 / Approved cultivation region*
Бережёная / Berezhenaya	9705035	2002	Волго-Вятский, Уральский / Volgo-Vyatsky, Ural
Гвидон / Gvidon	9252773	2008	Волго-Вятский / Volgo-Vyatsky
Добрянка / Dobryanka	9553027	2004	
Заречная / Zarechnaya	9553025	2004	
Пермячка / Permyachka	9051773	2015	Волго-Вятский, Уральский / Volgo-Vyatsky, Ural
Радужная / Raduzhnaya	9253859	2021	Волго-Вятский / Volgo-Vyatsky
Розовый Бочонок / Rozovyy Bochonok	8854621	2022	
Свердловчанка / Sverdlovchanka	9302492	2001	Нижневолжский, Уральский / Nizhnevolzhsky, Ural
Султан / Sultan	8260567	2023	Волго-Вятский / Volgo-Vyatsky
Талица / Talitsa	9553026	2004	
Флейта / Fleyta	8653073	ГСИ / State variety testing	
Чусовая / Chusovaya	7853114	2023	

Сорт Бережёная – cultivar Berezhenaya. Авторы: Л. А. Котов, А. С. Тихонова. Получен методом искусственного мутагенеза путем обработки радиомутагенами черенков сорта Бере Желтая. Достоинства сорта: зимостойкость, скороплодность, урожайность, продолжительное потребление плодов, устойчивость к *Monilia* sp. Недостатки сорта: частичная осыпаемость плодов при достижении потребительской зрелости. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101392)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101392)** (рис. 1, табл. 2).

Сорт Гвидон – cultivar Gvidon. Авторы: Л. А. Котов, Г. Н. Тарасова. Получен от свободного опыления сорта Сентябрьская Забава. Достоинства сорта: зимостойкость, скороплодность, стабильное плодоношение, урожайность, устойчивость к *Monilia* sp. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101393)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101393)** (рис. 2, табл. 2).

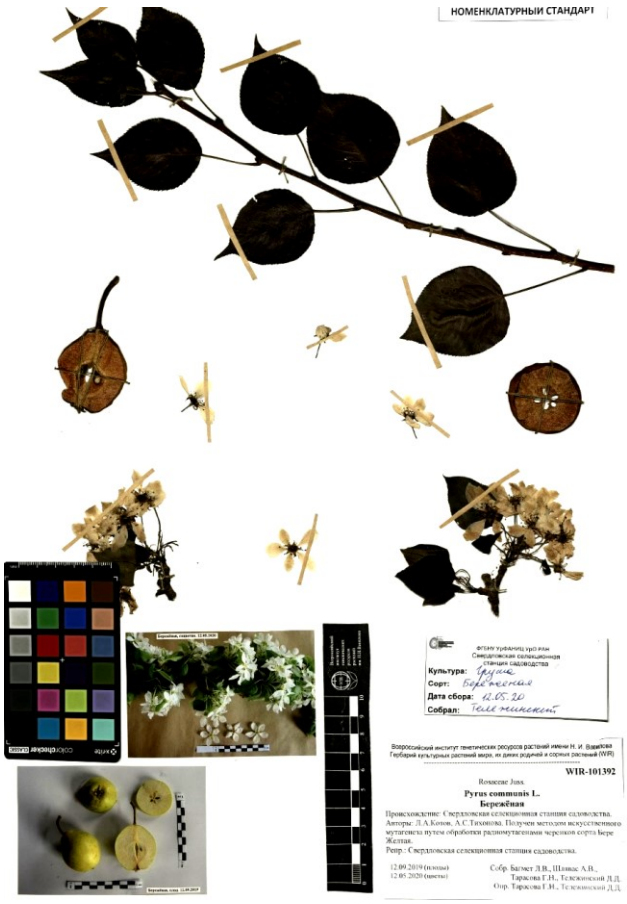


Рис. 1. **Номенклатурный стандарт сорта Бережёная /**
Fig. 1. **Nomenclatural standard of Berezhenaya cultivar**



Рис. 2. **Номенклатурный стандарт сорта Гвидон /**
Fig. 2. **Nomenclatural standard of Gvidon cultivar**

Сорт Добрянка – cultivar Dobryanka. Авторы: Л. А. Котов, Г. Н. Тарасова. Получен от скрещивания формы 2-39 с сортом Первенец. Достоинства сорта: скороплодность, очень хорошее качество плодов, устойчивость к *Monilia* sp. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 11.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101394)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 11.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101394)** (рис. 3, табл. 2).

Сорт Заречная – cultivar Zarechnaya. Авторы: Л. А. Котов, Г. Н. Тарасова. Получен от скрещивания сортов Тёма и Ранняя Млиевская. Достоинства сорта: зимостойкость, скороплодность, хорошее качество плодов, устойчивость к *Monilia* sp. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101395)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101395)** (рис. 4, табл. 2).



Рис. 3. **Номенклатурный стандарт сорта Добрянка /**
Fig. 3. **Nomenclatural standard of Dobryanka cultivar**



Рис. 4. **Номенклатурный стандарт сорта Заречная /**
Fig. 4. **Nomenclatural standard of Zarechnaya cultivar**

Сорт Пермячка – cultivar Permyachka. Авторы: Л. А. Котов, Г. Н. Тарасова. Получен от опыления сорта Тема смесью пыльцы сортов Елена, Космическая. Достоинства сорта: скороплодность, хорошее качество плодов. Недостатки сорта: в отдельные годы может в средней степени поражаться плодовой гнилью. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101397)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101397)** (рис. 5, табл. 2).

Сорт Радужная – cultivar Raduzhnaya. Авторы: Э. А. Фалькенберг, Г. Н. Тарасова. Получен от опыления сеянца уссурийской груши 41-15-9 пыльцой сорта Лесная Красавица. Достоинства сорта: зимостойкость, скороплодность, стабильное плодоношение, урожайность, хорошее качество плодов, устойчивость к *Monilia* sp. Недостатки сорта: при дозревании на дереве после наступления съемной зрелости качество плодов довольно быстро ухудшается. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101398)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101398)** (рис. 6, табл. 2).

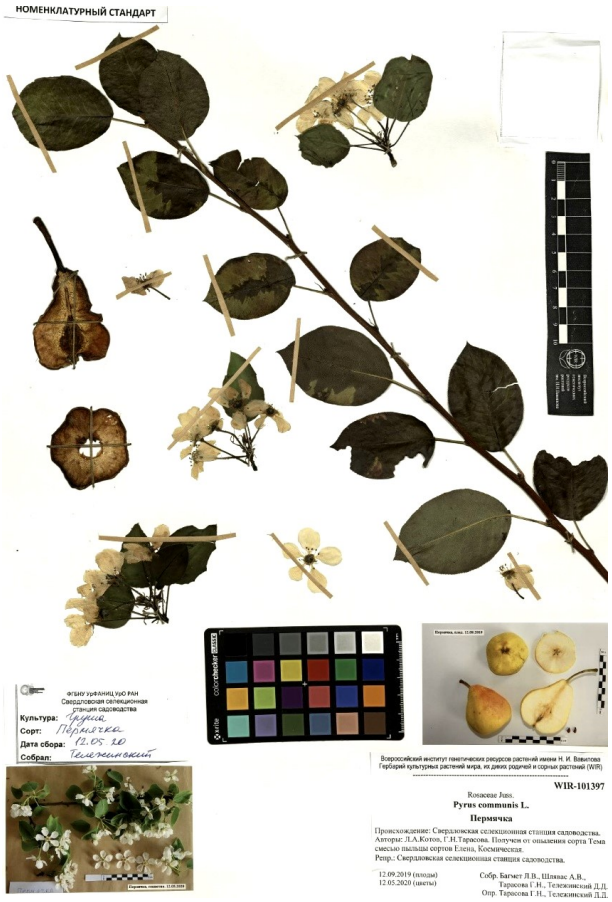


Рис. 5. **Номенклатурный стандарт сорта Пермячка /**
Fig. 5. **Nomenclatural standard of Permyachka cultivar**



Рис. 6. **Номенклатурный стандарт сорта Радужная /**
Fig. 6. **Nomenclatural standard of Raduzhnaya cultivar**

Сорт Розовый Бочонок – cultivar Rozovyy Bochonok. Авторы: Л. А. Котов, Д. Д. Тележинский, Г. Н. Тарасова. Получен от опыления формы 2-39 пыльцой сорта Первенец. Достоинства сорта: скороплодность, урожайность, хорошее качество плодов, длительный период потребления, устойчивость к *Monilia* sp. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101399)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101399)** (рис. 7, табл. 2).

Сорт Свердловчанка – cultivar Sverdlovchanka. Авторы: Л. А. Котов, Г. В. Кондратьева. Получен от опыления сорта Поля смесью пыльцы южных сортов груши обыкновенной. Достоинства сорта: скороплодность, урожайность, хорошее качество плодов. Недостатки сорта**:** средняя зимостойкость в северной части региона. В отдельные годы может в средней степени поражаться плодовой гнилью. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101400)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09. 2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101400)** (рис. 8, табл. 2).



Рис. 7. **Номенклатурный стандарт сорта Розовый Бочонок /**
Fig. 7. **Nomenclatural standard of Rozovyy Bochonok cultivar**



Рис. 8. **Номенклатурный стандарт сорта Свердловчанка /**
Fig. 8. **Nomenclatural standard of Sverdlovchanka cultivar**

Сорт Султан – cultivar Sultan. Авторы: Л. А. Котов, Д. Д. Тележинский, Г. Н. Тарасова. Получен от свободного опыления сорта Россошанская Десертная. Достоинства сорта: скороплодность, длительный период хранения плодов, устойчивость к *Monilia* sp. Недостатки сорта: средняя зимостойкость. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101402)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101402)**. (рис. 9, табл. 2).

Сорт Талица – cultivar Talitsa. Авторы: Л. А. Котов, Г. Н. Тарасова. Получен от опыления сорта Бере Желтая пыльцой сорта Ранняя Летняя. Достоинства сорта: зимостойкость, скороплодность, урожайность, ранний срок созревания плодов, устойчивость к *Monilia sp*. Недостатки сорта: короткий период потребления. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101404)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101404)** (рис. 10, табл. 2).



Рис. 9. **Номенклатурный стандарт сорта Султан /**
Fig. 9. **Nomenclatural standard of Sultan cultivar**



Рис. 10. **Номенклатурный стандарт сорта Талица /**
Fig. 10. **Nomenclatural standard of Talitsa cultivar**

Сорт Флейта – cultivar Fleyta. Авторы: Л. А. Котов, Г. Н. Тарасова. Получен от скрещивания отборной формы уссурийской груши 19л с сортом Ранняя Млиевская. Достоинства сорта: скороплодность, урожайность, хорошее качество плодов. Недостатки сорта: в годы с избыточным увлажнением может наблюдаться растрескивание части плодов; в отдельные годы может в средней степени поражаться плодовой гнилью. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (плоды, однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-101405)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09. 2019 (fruit, annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-101405)** (рис. 11, табл. 2).

Сорт Чусовая – cultivar Chusovaya. Авторы: Л. А. Котов, Д. Д. Тележинский, Г. Н. Тарасова. Получен от опыления сорта Бета смесью пыльцы сортов Виктория и Вильямс Руж. Достоинства сорта: зимостойкость, урожайность, очень хорошее качество плодов, устойчивость к *Monilia* sp. **Nomenclatural standard.** Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собрали: 12.09.2019 (однолетний побег), 12.05.2020 (цветки), Л. В. Багмет, А. В. Шлявас, Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский. Определили: Г. Н. Тарасова, Д. Д. Тележинский **(WIR-103944)** / Origin: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, UFARC, Ural Branch of RAS. Reproduction: Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Collectors: 12.09.2019 (annual shoot), 12.05.2020 (flowers), L. V. Bagmet, A. V. Shlyavas, G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy. Determinators: G. N. Tarasova, D. D. Telezhinskiy **(WIR-103944)** (рис. 12, табл. 2).

Таблица 2 – **Хозяйственно ценные признаки сортов груши /**
Table 2 – **Economically valuable traits of pear cultivars**

Название сорта / Name of cultivar	*Зимостойкость / Winter hardiness*	*Вступление в хозяйственное (полное) плодоношение, лет / Onset of fruiting (complete fruiting), age*	*Урожайность / Productivity*	*Съемная зрелость плодов / Picking maturity of fruit*	*Средняя (максим.) масса плодов, г / Average (max) fruit weight, g*	*Характеристика вкуса плодов (оценка, балл) / Characteristic of fruit taste (score, points)*	*Максимальное поражение Monilia sp., балл / Maximum Monilia sp. damage, points*
Бережёная / Berezhenaya	Высокая / High	5 (10)	Высокая / High	21 сентября-10 октября / September 21-October 10	80 (120)	Кисло-сладкий / Sour-sweet (4.0)	0
Гвидон / Gvidon		5 (7)		1-10 сентября / September 1-10	120 (180)		0
Добрянка / Dobryanka	Средняя / Average	6 (13)	Хорошая / Good	21-30 сентября / September 21-30	145 (190)	Сладкий / Sweet (4.4)	0
Заречная / Zarechnaya	Высокая / High	5 (12)		21-31 августа / August 21-31	115 (180)	Кисло-сладкий / Sour-sweet (4.2)	0
Пермячка / Permyachka	Хорошая / Good	6 (13)			130 (230)	Сладкий / Sweet (4.2)	3,0
Радужная / Raduzhnaya	Высокая / High	6 (10)	Высокая / High		120 (200)		1,0
Розовый Бочонок / Rozovyy Bochonok	Хорошая / Good	6 (13)	Хорошая / Good	21 сентября-10 октября / September 21-October 10	160 (280)	Кисло-сладкий / Sour-sweet (4.2)	0
Свердловчанка / Sverdlovchanka	Средняя / Average	4 (12)		1-10 сентября / September 1-10	140 (180)		3
Султан / Sultan		5/10		21 сентября-10 октября / September 21-October 10	145 (250)	Кисло-сладкий / Sour-sweet (4.0)	1,0
Талица / Talitsa	Высокая / High	6/8	Высокая / High	11-20 августа / August 11-20	60 (110)	Кисло-сладкий / Sour-sweet (4.1)	1,0
Флейта / Fleyta	Хорошая / Good	6/14	Хорошая / Good	21-31 августа / August 21-31	100 (180)	Кисло-сладкий / Sour-sweet (4.2)	3,0
Чусовая / Chusovaya	Высокая / High	8/12	Высокая / High	1-10 сентября / September 1-10	75 (100)	Сладкий / Sweet (4.4)	0



Рис. 11. **Номенклатурный стандарт сорта Флейта /**
Fig. 11. **Nomenclatural standard of Fleyta cultivar**



Рис. 12. **Номенклатурный стандарт сорта Чусовая /**
Fig. 12. **Nomenclatural standard of Chusovaya cultivar**

Заключение. В данной публикации обнародованы номенклатурные стандарты 12 образцов сортов груши 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) 12 образцов номенклатурных стандартов в количестве 22 листов (типовой фонд): Бережёная (WIR-101392), Гвидон (WIR-101393), Добрянка (WIR-101394), Заречная (WIR-101395), Пермячка (WIR-101397), Радужная (WIR-101398), Розовый Бочонок (WIR-101399), Свердловчанка (WIR-101400), Султан (WIR-101402), Талица (WIR-101404), Флейта (WIR-101405), Чусовая (WIR-103944); 3 образца в количестве 4 листов элитных форм (основной фонд): Лимонадная (WIR-101396), Сретенская (WIR-101401), Таис (WIR-101403). Номенклатурные стандарты включают пакет сопроводительных документов, предоставленных станцией (копии авторских свидетельств сортов Гвидон, Добрянка, Заречная, Пермячка, Талица; свидетельств о регистрации сортов Бережёная, Свердловчанка, патентов на сорта Радужная, Розовый Бочонок, Султан, Флейта).

Цифровое изображение номенклатурных стандартов доступно в Базе данных «Гербарий ВИР» (http://db.vir.nw.ru/herbar/gerb), поиск осуществляется по идентификационному номеру образца.

Список литературы

1. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Xiaobai Jin. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1-27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

2. Клименко Н. С., Гавриленко Т. А., Чухина И. Г., Гаджиев Н. М., Евдокимова З. З., Лебедева В. А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля, выведенные селекционерами Ленинградского НИИСХ «Белогорка». Биотехнология и селекция растений. 2020;3(3):18-54. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o3 EDN: BGTCZF

3. Фомина Н. А., Антонова О. Ю., Чухина И. Г., Гимаева Е. А., Сташевски З., Гавриленко Т. А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Татарского НИИСХ «Казанский научный центр РАН». Биотехнология и селекция растений. 2020;3(3):55-67.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o4 EDN: FQVDKG

4. Рыбаков Д. А., Антонова О. Ю., Чухина И. Г., Фомина Н. А., Клименко Н. С., Желтова В. В., Мелешин А. А., Кочиева Е. З., Овэс Е. В., Апшев Х. Х., Симаков Е. А., Гавриленко Т. А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Всероссийского научно-исследовательского института картофеля им. А. Г. Лорха. Биотехнология и селекция растений. 2020;3(4):5-52.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-4-o1 EDN: GLYYRF

5. Багмет Л. В., Шлявас А. В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Павловской опытной станции ВИР. Vavilovia. 2021;4(1):3-24. DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-3-24 EDN: RUHEXR

6. Шлявас А. В., Тележинский Д. Д., Багмет Л. В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть 1. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):102-107. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-102-107 EDN: JAEPDA

7. Тихонова О. А., Шаблюк Н. О., Гавриленко Т. А., Дунаева С. Е., Таловина Г. В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции ВИР. Vavilovia. 2021;4(2):3-25.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-2-3-25 EDN: NJAQKY

8. Багмет Л. В., Чеботок Е. М., Шлявас А. В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть I. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):873-886. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.873-886 EDN: ZMNEPX

9. Багмет Л. В., Чеботок Е. М., Шлявас А. В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть II. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(1):69-80. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.69-80 EDN: TLAVOV

10. Камнев А. М., Яговцева Н. Д., Дунаева С. Е., Гавриленко Т. А., Чухина И. Г. Номенклатурные стандарты сортов малины Алтайской селекции. Vavilovia. 2021;4(2):26-43.
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-2-26-43 EDN: IPMAHN

11. Слепнева Т. Н., Шлявас А. В. Порфирий Афанасьевич Диброва – у истоков научного плодоводства Урала. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(2):163-172.
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-163-172 EDN: MVVOLP

12. Тележинский Д. Д. Наследование зимостойкости в гибридном потомстве уссурийской груши. Аграрный вестник Урала. 2011;(1):62-63. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=17868530 EDN: PBALJN

13. 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.

14. Тарасова Г. Н., Тележинский Д. Д. Сорт груши Розовый Бочонок. Плодоводство и ягодоводство России. 2015;43:206-208. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25136890 EDN: VEBVMP

15. Тарасова Г. Н., Тележинский Д. Д. Новые сорта груши для Среднего Урала. Современное садоводство. 2018;(3):33-38. DOI: https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10305 EDN: YQVIMP

16. Тарасова Г. Н., Кирсанов Ю. А. Уральские сорта груши – новое сырье для переработки. Аграрный вестник Урала. 2007;42(6):50-51. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=9926354 EDN: IJFROL

17. Макаренко С. А., Савин Е. З., Ильин В. С., Котов Л. А., Слепнева Т. Н., Чеботок Е. М. и др. Помология Урала: сорта плодовых, ягодных культур и винограда. М.: Наука, 2022. С. 16-32.

18. 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

References

1. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Xiaobai Jin. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1-27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

2. Klimenko N. S., Gavrilenko T. A., Chukhina I. G., Gadzhiev N. M., Evdokimova Z. Z., Lebedeva V. A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred at the Leningrad Research Institute for Agriculture «Belogorka». *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2020;3(3):18-54. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o3

3. Fomina N. A., Antonova O. Yu., Chukhina I. G., Gimaeva E. A., Stashevski Z., Gavrilenko T. A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Tatar Research Institute of Agriculture «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences». *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2020;3(3):55-67. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-3-o4

4. Rybakov D. A., Antonova O. Yu., Chukhina I. G., Fomina N. A., Klimenko N. S., Zheltova V. V., Meleshin A. A., Kochieva E. Z., Oves E. V., Apshev K. K., Simakov E. A., Gavrilenko T. A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the A.G. Lorkh All-Russian Research Institute of Potato Farming. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2020;3(4):5-52. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-4-o1

5. Bagmet L. V., Shlyavas A. V. Nomenclatural standards of apple cultivars bred at the Pavlovsk experiment station of VIR. *Vavilovia*. 2021;4(1):3-24. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-3-24

6. Shlyavas A. V., Telezhinskiy D. D., Bagmet L. V. Nomenclatural standards of apple cultivars developed at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021;182(4):102-107. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-102-107

7. Tikhonova O. A., Shabliuk N. O., Gavrilenko T. A., Dunaeva S. E., Talovina G. V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred at VIR. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-2-3-25

8. Bagmet L. V., Chebotok E. M., Shlyavas A. V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):873-886. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.873-886

9. Bagmet L. V., Chebotok E. M., Shlyavas A. V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part II. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(1):69-80. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.69-80

10. Kamnev A.M., Yagovtseva N.D., Dunaeva S.E., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of raspberry cultivars bred in the Altai. *Vavilovia*. 2021;4(2):26-43. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-2-26-43

11. Slepneva T. N., Shlyavas A. V. Porfiry Afanasyevich Dibrova: at the origins of scientific pomiculture in the Urals. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021;182(2):163-172. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-2-163-172

12. Telezhinskiy D. D. Winter hardiness inheritance in hybrid posterity of the pyrus ussuriensis. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(1):62-63. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17868530

13. Bogdanova I. I., Demin N. S., Nashchekina A. S. Sverdlovsk Horticultural Breeding Station is 70 years old. Prospects of northern gardening at the present stage. Ekaterinburg, 2005. pp. 5-32.

14. Tarasova G. N., Telezhinskiy D. D. Pear's variety Rozoviy Bochonok. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2015;43:206-208. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25136890

15. Tarasova G. N., Telezhinskiy D. D. New pear varieties for middle Ural. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2018;(3):33-38. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10305

16. Tarasova G. N., Kirsanov Yu. A. Ural varieties of pears are new raw materials for processing. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2007;42(6):50-51. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=9926354

17. Makarenko S. A., Savin E. Z., Ilin V. S., Kotov L. A., Slepneva T. N., Chebotok E. M. et al. Pomology of the Urals: varieties of fruit, berry crops and grapes. Moscow: *Nauka*, 2022. pp. 16-32.

18. 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

Сведения об авторах

✉ **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 (ВИР)», ул. Б. Морская, 42, 44, Санкт-Петербург, Россия, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0768-0056**, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

Тарасова Галина Нурисламовна, 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, Россия, 620142, e-mail: sadovodnauka@mail.ru,
ORCID: **https://orcid.org/0000-0003-3563-6917**

Information about the authors

✉ **Larisa V. Bagmet**, PhD in Biological Science, leading researcher, the Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 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

Galina N. Tarasova, senior researcher, the Department of Breeding and Cultivar Research of Fruit and Berry Crops, Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A, Belinsky Street, Yekaterinburg, Russian Federation, 620142, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID**: **https://orcid.org/0000-0003-3563-6917**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.214-222
УДК 633.81:631.526.32

(cc) BY

Оценка продуктивности и адаптивности сортов кориандра в условиях лесостепи Среднего Поволжья

© 2023. Т. Я. Прахова✉
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Кориандр является распространенной эфиромасличной культурой и источником целого ряда ценных продуктов. Выращивают кориандр в основном для получения масличных семян (плодов) и пряной зелени (кинзы). В статье представлена сравнительная оценка продуктивности и адаптивности 14 сортов кориандра в условиях Пензенской области (лесостепь Среднего Поволжья). За годы исследований (2020-2022) продолжительность вегетационного периода кориандра составила в среднем по сортам 89-109 дней. Скороспелостью отличились сорта Карибе, Бородинский и Силач (89-92 дня). Урожайность семян кориандра варьировала в пределах от 1,41 до 1,83 т/га с максимальными значениями у сортов Нектар и Санто (1,75 и 1,83 т/га), на 0,15-0,42 т/га выше других сортов ($НСР_{05}$ = 0,11). Наибольшее содержание жирного масла отмечено у сортов Коммандер (20,09 %), Венера (19,58 %) и Санто (19,04 %). Все сорта имели достаточно высокий адаптивный потенциал: коэффициент адаптивности варьировал от 0,85 до 1,19 с наибольшими значениями у сортов Нектар (1,19), Санто (1,13) и Карибе (1,12). Данные сорта обладали наиболее высокой селекционной ценностью (1,32-1,42). По значениям показателя уровня стабильности сорта (19,09) и индекса стабильности (13,66) наибольшей стабильностью признака «урожайность» характеризовался сорт Карибе. Анализ структуры урожая показал, что по продуктивности одного растения выделены сорта Нектар (4, 89 г.) и Санто (5,49 г.). Наиболее крупные плоды сформировались у сортов Тайга (10,26 г), Санто (10,94 г) и Карибе (10,85 г). По числу плодов в одном зонтике наибольший интерес представляют 7 сортов, у которых данный показатель достигал более 40 штук. Максимальное количество зонтиков 21,6 и 22,6 сформировали сорта Нектар и Санто. Оценка сортов кориандра показала их высокие адаптивные возможности в контрастных погодных условиях Пензенской области.

Ключевые слова: *кориандр посевной, сорта, урожайность, жирное масло, 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).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прахова Т. Я. Оценка продуктивности и адаптивности сортов кориандра в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):214-222.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.214-222

Поступила: 22.02.2023 Принята к публикации: 24.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Evaluation of productivity and adaptability of coriander varieties under forest-steppe conditions of the middle Volga region

© 2023. Tatyana Ya. Prakhova✉
Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

Coriander is a common essential oil crop and a source of a number of valuable products. Coriander is grown mainly for oil seeds (fruits) and spicy greens (cilantro). The article presents a comparative assessment of the productivity and adaptability of 14 varieties of coriander in the conditions of the Penza region (forest-steppe of the Middle Volga region). Over the years of research (2020-2022), the duration of the growing season of coriander was, on average for varieties, 89-109 days. Early ripening was noted in varieties Karibe, Borodinsky and Silach (89-92 days). The yield of coriander seeds ranged from 1.41 to 1.83 t/ha, with the maximum values in the Nectar and Santo varieties (1.75 and 1.83 t/ha), 0.15-0.42 t/ha higher other varieties (LSD_{05} = 0.11). The highest content of fatty oil was noted in the varieties Commander (20.09 %), Venera (19.58 %) and Santo (19.04 %). All varieties had a fairly high adaptive potential: the coefficient of adaptability ranged from 0.85 to 1.19, with the highest values in varieties Nectar (1.19), Santo (1.13) and Karibe (1.12). These varieties had the highest breeding value (1.32-1.42). According to the values of the indicator of the level of stability of the variety (19.09) and the stability index (13.66), the variety Karibe was characterized by the highest stability of the trait "yield". The analysis of the crop structure showed that the varieties Nectar (4.89 g) and Santo (5.49 g) were selected according to the productivity of one plant. The largest fruits were formed in varieties Taiga (10.26 g), Santo (10.94 g) and Karibe (10.85 g). According to the number of fruits in one umbel, 7 varieties are of the greatest interest, in which this indicator reached more than 40 pieces. The maximum number of umbel 21.6 and 22.6 was formed by varieties Nectar and Santo. Evaluation of coriander varieties showed their high adaptive capabilities in contrasting weather conditions of the Penza region.

Key words: *coriandrum sativum, varieties, yield, fatty oil, adaptability, stability, crop structure*

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 Scientific Center for Bast Fiber Crops (theme No FGSS-2022-0008).

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 citation: Prakhova T. Ya. Evaluation of productivity and adaptability of coriander varieties under forest-steppe conditions of the middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):214-222. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.214-222

Received: 22.02.2023 Accepted for publication: 24.03.2023 Published online: 25.04.2023

В настоящее время одним из приоритетных направлений исследований является всестороннее изучение лекарственных и эфиромасличных растений. Это обусловлено, в первую очередь, необходимостью производства отечественного сырья и эфирных масел, которые имеют широкое применение в различных отраслях промышленности, медицины и других сферах [1, 2].

Кориандр (*Coriandrum sativum* L.) – одна из наиболее распространенных эфиромасличных культур, возделывается с глубокой древности и является источником целого ряда ценных продуктов, таких как эфирное и жирное растительные масла, зеленые листья и зрелые плоды, а также шроты, жмыхи и порошок [3, 4].

Основными направлениями культивирования кориандра являются: первое – получение семян (плодов), которые применяются в качестве пряности в пищевой промышленности и для производства эфирного масла; второе – получение пряной зелени (кинзы) [5, 6]. Общая площадь посева кориандра в мире составляет около 500 тыс. га, основная часть которой используется для выращивания на семена, и лишь небольшая доля (около 3-5 %) – для получения зелени. В России кориандр, по разным данным, занимает 100-170 тыс. га [7, 8].

Зелень кориандра богата витаминами А, С, группы В и каротином (до 10 мг/100 г), имеет необычный пряный вкус, аромат, хрустящую текстуру и употребляется в пищу [5, 9].

Плоды кориандра содержат 1,5-1,8 % эфирного масла по одним данным [10] и до 3,0 % и более – по другим [11], в состав которого входит более 20 компонентов, где основным является линалоол (60-80 %) [12]. Эфирное масло кориандра обладает широким спектром ценных свойств, благодаря чему широко применяется в фармацевтике и медицине [13, 14].

Из семян кориандра получают от 16,0 до 28,0 % жирного масла, которое используется в производстве мыла, в текстильной и полиграфической промышленности. Наибольшую долю в масле занимают олеиновая (52,0-75,0 %) и линолевая (13,9-16,5 %) жирные кислоты [15, 16]. Целые семена кориандра используются как пряность в пищевой промышленности (кондитерской, пивоваренной, консервной) [5, 7]. Плоды и надземная часть (листья) применяются в медицине, они обладают желчегонными и слабительными свойствами, и входят в состав различных лекарственных препаратов и чаев [14].

Кориандр достаточно холодостойкая культура. Семена начинают прорастать при температуре 5-6 °С, однако при таких температурах всходы появляются только через 20-25 дней после посева. Всходы способны выдерживать заморозки до минус 7-10 °С [10, 17]. Наибольшие требования как к теплу, так и влаге растения кориандра предъявляют в фазе «цветение-спелость». При этом кориандр достаточно засухоустойчивое растение [1, 4].

В культуру кориандр введен еще в глубокой древности. В настоящее время его широко возделывают во многих странах Европы, США, Индии, Китае [3, 8, 9]. В России кориандр больше распространен в центральных и юго-восточных областях [7, 10, 16].

В Государственный реестр селекционных достижений РФ на сегодняшний день включено 13 сортов кориандра посевного и 39 сортов кориандра овощного[1], каждый из которых имеет свои хозяйственно ценные признаки. Однако все биологические и урожайные свойства сортов проявляются по-разному в зависимости от агроклиматических условий региона выращивания. Поэтому оценка каждого отдельного сорта в определенных условиях конкретного региона является актуальной темой исследования.

Цель исследований – сравнительное изучение разных сортов кориандра по продуктивности и адаптивности в условиях Пензенской области (лесостепь Среднего Поволжья) для возможности их дальнейшего использования в селекционном процессе с данной культурой.

[1]Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. [Электронный ресурс]. М., 2022. URL: https://gossortrf.ru/gosreestr/ (дата обращения: 10.01.2023).

Новизна исследований – впервые в условиях Пензенской области проведена оценка различных сортов кориандра и выделены наиболее ценные, которые сочетают высокую урожайность семян с широким адаптивным потенциалом и могут служить исходным материалом для селекции сортов кориандра посевного.

Материал и методы. Экспериментальную работу по изучению сортов кориандра проводили в 2021-2022 гг. на опытном поле Пензенского НИИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Лунино, Пензенская область), территория которого относится к лесостепи Среднего Поволжья. Объектом исследования являлись 14 сортов кориандра российской и иностранной селекции.

Климат региона – умеренно-континентальный, характеризующийся контрастностью тепла и влаги. За период вегетации культур сумма эффективных температур варьирует в пределах от 1550 до 2150 °С, сумма осадков в среднем составляет 240-245 мм, при этом засуха – типичное явление для региона. Почвы опытного участка представлены выщелоченными черноземами с содержанием гумуса 5,7-6,1 %.

Погодные условия в годы исследований различались по количеству тепла и уровню влагообеспеченности. Период вегетации культуры 2020 года характеризовался как умеренно засушливый, гидротермический коэффициент составил 0,87 при среднесуточных температурах 19,3 °С. В 2021 году условия были более засушливые (ГТК = 0,79), развитие культуры проходило при достаточно высоких температурах 21,5 °С, сумма выпавших осадков составила 146,4 мм. Вегетационный период кориандра в 2022 году протекал в более благоприятных условиях, ГТК = 1,07, при среднемноголетнем показателе – 1,03.

Закладку полевых опытов, все наблюдения, учеты и анализы проводили согласно методическим рекомендациям [18]. Параметры адаптивности и стабильности определяли по методам, описанным А. В. Кильчевским и Л. В. Хотылевой [19]. Степень отзывчивости сорта рассчитывали по методу А. И. Кинчарова с соавторами [20]. Определение масличности проводили методом Сокслета в лаборатории агротехнологий Пензенского НИИСХ.

Статистическая обработка результатов исследований выполнена методами дисперсионного и вариационного анализов по Б. А. Доспехову[2].

Результаты и их обсуждение. Климатические условия в период роста и развития кориандра изменялись по фазам вегетации – от острозасушливых до избыточно-увлажненных.

Так, в период от посева до полных всходов кориандра в 2020-2022 гг. выпало от 1,4 до 18,8 мм осадков при среднесуточной температуре 10,3-19,4 °С, гидротермический коэффициент составил 0,07-1,44. Наиболее засушливые условия отмечались в 2021 году, данный период в 2022 году, наоборот, протекал в условиях с обильным выпадением осадков (ГТК = 1,44). Продолжительность фенофазы «посев-всходы» по годам исследований в среднем по сортам составила 11-19 суток (табл. 1).

Таблица 1 – **Гидротермические условия и продолжительность периода вегетации кориандра, в среднем по сортам (2020-2022 гг.) /**
Table 1 – **Hydrothermal conditions and duration of coriander vegetation period, average for varieties (2020-2022) /**

Показатель / Indicator	*Посев-всходы / Sowing-seedlings*	*Всходы-цветение / Seedlings-flowering*	*Цветение-созревание / Flowering-ripening*	*Всходы-созревание / Seedlings-ripening*
Сумма температур ≥ 10 °С / Sum of temperatures ≥ 10 °С	144,0-213,0	912,5-1008,0	740,5-839,0	1653,0-1847,0
Среднесуточная температура, °С / Average daily temperature, °С	10,3-19,4	16,7-20,2	17,5-23,3	18,2-21,5
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	1,4-18,8	97,8-102,7	48,6-73,7	146,4-176,4
Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient	0,07-1,44	0,97-1,13	0,58-0,99	0,79-1,07
Продолжительность периода, сут / Period duration, days	11-19	50-56	36-42	89-109

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

Период от всходов до цветения кориандра продолжительностью 50-56 суток характеризовался как умеренно-увлажненный, ГТК варьировал от 0,97 до 1,13. Фенофаза «цветение-созревание» в 2022 году протекала в засушливых условиях (ГТК = 0,58), в 2020 и 2021 годах – умеренно-увлажненных (ГТК = 0,94-0,99). Всего в этот период продолжительностью 36-42 суток выпало от 48,6 до 73,7 мм осадков при среднесуточных температурах 17,5-23,3 °С.

В целом вегетационный период кориандра в среднем по сортам составил 89-109 суток. Следует отметить, что за все три года изучения наиболее позднеспелыми отмечены сорта Аккорд, Эва и Авангард, продолжительность периода вегетации которых 101-109 суток. Сорта Карибе, Бородинский и Силач отличались скороспелостью – 89-92 суток.

Урожайность семян кориандра, в среднем за годы исследований, была достаточно высокой и варьировала в пределах от 1,41 до 1,83 т/га (рис. 1). Максимальные значения отмечены у сортов Нектар и Санто (1,75 и 1,83 т/га), что достоверно превышает урожайность других сортов на 0,15-0,42 т/га ($НСР_{05}$ = 0,11). Наиболее низкую урожайность семян (1,41…1,49 т/га) сформировали сорта Эва, Дебют и Авангард.

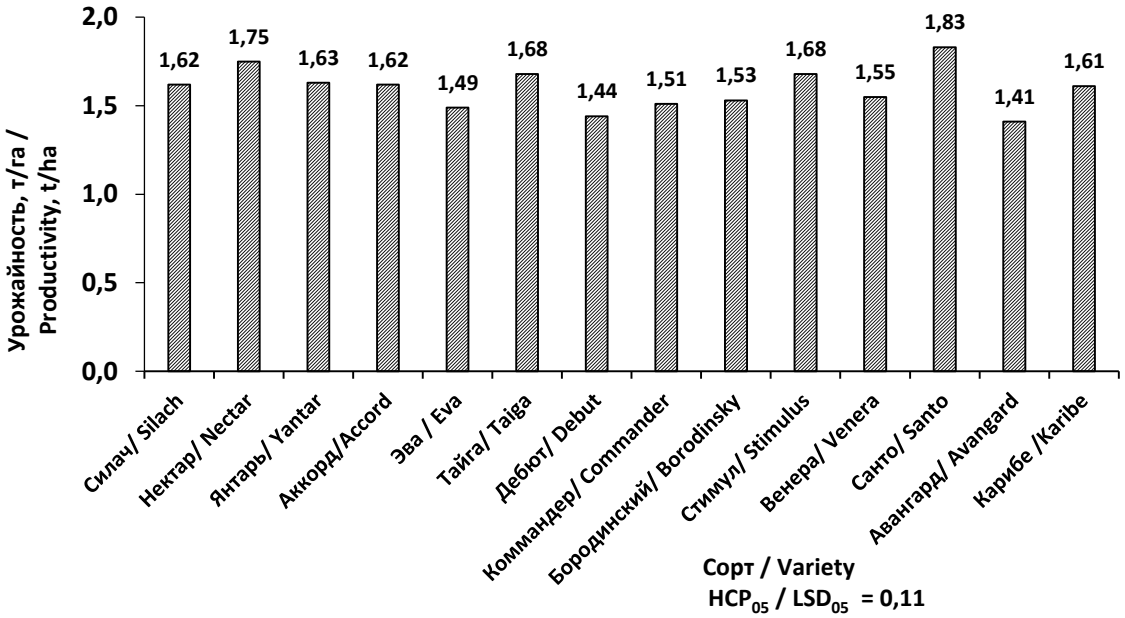


Рис. 1. **Урожайность семян сортов кориандра, т/га (среднее за 2020-2022 гг.) /**
Fig. 1. **Seed yield of coriander varieties, t/ha (average for 2020-2022) /**

В среднем за годы исследований содержание жирного масла в семенах сортов кориандра составляло от 15,31 до 20,09 %, при среднесортовом значении – 18,24 %. Наибольшая масличность отмечена у Коммандер (20,09 %), Венера (19,58 %) и Санто (19,04 %), что на 0,80-1,85 абс.% выше относительно среднего показателя и на 0,15-4,78 абс.% превышает значения других сортов (рис. 2).

Наименьшее количество масла содержится в семенах сортов Нектар, Авангард, Эва и Тайга, концентрация которого составила 15,31 %, 16,89 %, 17,19 % и 17,90 % соответственно, в семенах остальных сортов – на уровне 18,08-18,89 %.

Важным фактором в анализе продуктивности растений является оценка варьирования элементов структуры урожая. Значимой структурной составляющей урожайности кориандра является число зонтиков на одном растении, которое по сортам колебалось от 14,4 до 22,6 шт. Максимальное количество зонтиков сформировали сорта Нектар и Санто (21,6 и 22,6 шт.) Данный признак характеризовался средней изменчивостью, коэффициент вариации составил 19 % (табл. 2).

Вариабельность числа плодов в зонтиках составила 12 % при диапазоне изменчивости от 30,7 до 46,4 штук в среднем за три года. По данному признаку наибольший интерес представляют сорта Силач, Нектар, Янтарь, Коммандер, Стимул, Венера и Санто, у которых количество семян в одном зонтике насчитывалось более 40 штук.

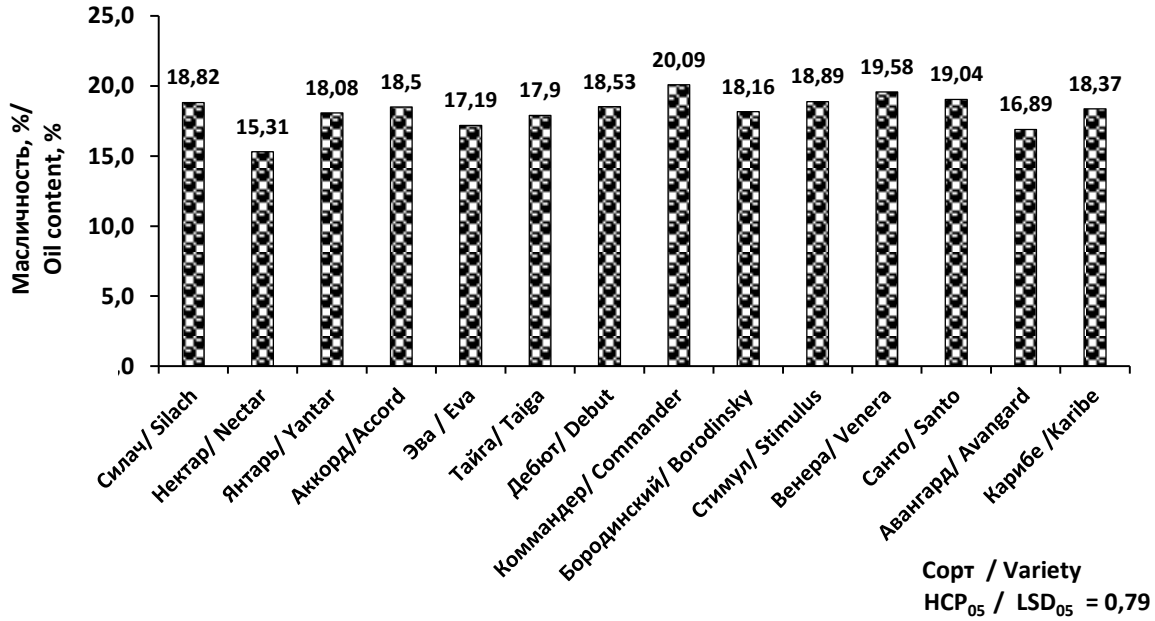


Рис. 2. **Содержание жирного масла в семенах сортов кориандра (в среднем за 2020-2022 гг.), % /**
Fig. 2. **The content of fatty oil in the seeds of coriander varieties (average for 2020-2022), %**

Таблица 2 – **Показатели структуры урожайности сортов кориандра (в среднем за 2020-2022 гг.) /**
Table 2 – **Indicators of the yield structure of coriander varieties (average for 2020-2022)**

Сорт / Variety	*Высота растений, см / Plant height, cm*	*Количество зонтиков на растении, шт. / Number of umbels on the plant, pcs*	*Количество семян в 1 зонтике, шт. / The amount of seeds in 1 umbel, pcs*	*Масса семян с 1 растения, г / Weight of seeds from 1 plant, g*	*Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g*
Силач / Silach	68,9	19,0	41,1	3,81	8,28
Нектар / Nectar	69,7	21,6	43,8	4,89	7,45
Янтарь / Yantar	70,5	16,2	43,5	3,41	7,51
Аккорд /Accord	69,8	15,7	37,9	2,57	7,14
Эва / Eva	73,7	14,9	30,7	2,31	8,92
Тайга / Taiga	65,3	18,9	31,0	3,60	10,26
Дебют / Debut	80,1	17,2	39,7	2,56	9,26
Коммандер / Commander	60,4	15,8	44,6	2,40	8,30
Бородинский / Borodinsky	79,1	19,3	36,6	3,50	9,16
Стимул / Stimulus	70,9	16,2	46,4	3,61	8,52
Венера / Venera	76,6	18,9	40,8	3,91	7,90
Санто / Santo	77,4	22,6	41,4	5,49	10,94
Авангард / Avangard	67,3	14,4	36,4	3,48	7,86
Карибе / Karibe	70,9	15,9	38,5	2,27	10,85
CV, %	10	19	12	28	14

Значения показателя «масса семян с 1 растения» изменялись в пределах 2,27-5,49 г, уровень вариации данного признака был высоким и составил 28 %. Наиболее высокая масса семян с одного растения 4,89 и 5,49 г отмечена у сортов Нектар и Санто. Минимальной продуктивностью (2,27-2,57 г) обладали сорта Аккорд, Эва, Дебют, Коммандер и Карибе.

Значения показателя «масса 1000 семян» варьировали от 7,14 г до 10,94 г, с долей изменчивости 14 %. Наиболее крупные плоды (10,26-10,85 г) сформировались у сортов Тайга, Санто и Карибе, мелкие (7,14-7,90 г) – Нектар, Янтарь, Аккорд, Венера и Авангард. Остальные сорта отличались средними по массе плодами, значения которого варьировали от 8,28 г (Силач) до 9,26 г (Дебют).

Высота растений слабо характеризует уровень их развития, поскольку высокие растения не всегда являются более развитыми и урожайными и, как правило, более подвержены полеганию в случае неблагоприятных условий. Высота растений кориандра незначительно варьировала по сортам (CV = 10 %) и находилась в диапазоне 67,3-80,1 см. Наиболее высокорослыми (80,1 и 79,1 см) были сорта Дебют и Бородинский.

Урожайность не является решающим показателем сортовых особенностей культуры, на проявление которых влияет множество разных факторов. Как известно, каждый сорт по-разному отзывается на изменения внешней среды – один сильно реагирует, другой не чувствует перемены условий и способен формировать высокий урожай в любых гидротермических ситуациях. Поэтому важными характеристиками агробиологических свойств сортов являются параметры их адаптивности к различным условиям возделывания.

Одним из критериев, характеризующих продуктивные возможности изучаемых сортов, является коэффициент адаптивности (КА). Самые высокие показатели отмечены у сортов Нектар (1,19), Санто (1,13) и Карибе (1,12), значения 1,02-1,19 имели большинство сортов (табл. 3).

Таблица 3 – **Параметры адаптивности и стабильности сортов кориандра (2020-2022 гг.) /**
Table 3 – **Parameters of adaptability and stability of coriander varieties (2020-2022)**

Сорт / Variety	*КА / CA*	*ПУСС / PUSS*	*ИС / IS*	*As, %*	*Sc*	*R, %*
Силач / Silach	1,03	7,91	4,88	76,83	1,02	24,1
Нектар / Nectar	1,19	12,62	7,34	76,57	1,42	6,3
Янтарь / Yantar	1,03	17,01	10,44	74,38	1,25	11,4
Аккорд /Accord	1,02	7,33	6,87	50,40	1,31	7,0
Эва / Eva	0,99	5,79	2,94	53,21	1,18	5,1
Тайга / Taiga	0,96	8,85	5,86	64,24	1,05	17,7
Дебют / Debut	0,85	7,01	6,68	69,45	1,15	6,3
Коммандер / Commander	0,94	9,21	7,85	61,02	1,14	12,6
Бородинский / Borodinsky	0,97	11,90	6,02	74,58	1,39	29,7
Стимул / Stimulus	1,06	16,35	9,73	72,74	1,22	13,3
Венера / Venera	0,89	8,38	7,15	69,49	1,11	16,5
Санто / Santo	1,13	14,75	12,69	73,38	1,41	21,5
Авангард / Avangard	1,02	6,98	9,16	62,43	1,15	12,6
Карибе / Karibe	1,12	19,09	13,66	65,61	1,32	9,2

Примечания: КА – коэффициент адаптивности; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта; ИС – индекс стабильности; As – агрономическая стабильность; Sc – селекционная ценность; R – показатель отзывчивости /

Notes: CA – Adaptability coefficient, PUSS – Index of variety stability level; IS – Stability index; As – Agronomic stability; Sc – Selection value; R –Responsiveness score

Адаптивность сорта следует рассматривать и с позиции его стабильности. Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) учитывает не только уровень стабильности признака, но и характеризует способность генотипов отзываться на улучшение условий возделывания. Высокие значения ПУСС отмечены у сортов Нектар, Янтарь, Стимул, Санто, Бородинский и Карибе, которые были больше 10,0 и составили 11,90-19,09. Это свидетельствует о способности данных сортов реализовывать свои адаптивные возможности при различных стрессовых факторах.

Высокий индекс стабильности (ИС) отмечен у Янтарь, Санто и Карибе – 10,44, 12,69 и 13,66 соответственно, то есть данные

сорта более приспособлены к конкретным условиям возделывания.

Одна из важных сортовых характеристик – это агрономическая стабильность (As). Считается, что наиболее ценными для производства являются сорта, у которых данный показатель превышает 70 %. В наших исследованиях 6 сортов отвечали этому требованию, уровень их агрономической стабильности составил 72,74-76,83 %, что характеризует их толерантность к условиям возделывания. Урожайность у данных сортов была невысокой, но она меньше варьировала по годам исследований.

Сорта Нектар и Санто обладали наиболее высокой селекционной ценностью (Sc – 1,42 и 1,41 соответственно), то есть сочетали высокую урожайность с адаптивными возможностями.

Важным критерием адаптивности, пластичности и приспособленности сорта к определенным агроэкологическим условиям является показатель отзывчивости (R) на благоприятные условия окружающей среды, то есть при их улучшении сорт способен увеличивать уровень своей продуктивности. В наших исследованиях наибольшая степень отзывчивости отмечена у сортов Силач, Бородинский и Санто, которая свидетельствует о том, что при изменении климатических или агротехнических параметров они способны увеличить урожай семян на 24,1; 29,7 и 21,5 % соответственно.

Заключение. Кориандр в условиях Пензенской области (лесостепь Среднего Поволжья) является перспективной культурой для выращивания на семена. Оценка сортов кориандра показала их высокую адаптивность к контрастным условиям Пензенской области и способность формировать достаточно высокую урожайность семян до 1,41-1,83 т/га с содержанием жирного масла 15,31-20,09 %. По урожайности выделены сорта Нектар и Санто (1,75 и 1,83 т/га), кроме этого, данные сорта характеризовались высокими параметрами адаптивности (КА 1,13-1,19), стабильности (ПУСС 12,62-14,75) и ценностью для производственной и селекционной работы. Наибольшей стабильностью признака «урожайность» по годам характеризовался сорт Карибе, у которого значения показателя ПУСС и индекса стабильности составили 19,09 и 13,66 соответственно. Сорта Коммандер и Венера выделились по содержанию жирного масла в семенах (20,09 и 19,58 % соответственно).

Изученные сорта кориандра представляют большой интерес для использования их в качестве исходного материала в селекции на семена.

Список литературы

1. Vinogradov D., Lupova E., Khromtsev D., Vasileva V. The influence of bio-stimulants on productivity of coriander in the Non-chernozem zone of Russia. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018;6(24):1078-1084.

2. Прахова Т. Я. Экологические аспекты продуктивности сортов нигеллы в условиях Среднего Поволжья. Российская сельскохозяйственная наука. 2022;(2):36-40.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=48507037 EDN: GAIPVS

3. Хмелинская Т. В., Смоленская А. Е., Соловьева А. Е. Комплексная биохимическая характеристика кориандра (*Coriandrum sativum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):80-90. DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-80-90 EDN: NUMEWP

4. Duwal A., Nepal A., Luitel S., Acharya S., Pathak R., Poudel P. R., Shrestha J. Evaluation of coriander (Coriandrum sativum L.) varieties for growth and yield parameters. Nepalese Journal of Agricultural Sciences. 2019;18:36-46. URL: https://www.researchgate.net/publication/337560937

5. Степанова Н. Ю. Агробиологическая оценка сортов кориандра в условиях Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021;(4):20-27.
DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-4-20-27 EDN: ZFIAGN

6. Krivda S. I., Nevkrytaya N. V., Pashtetsky V. S., Babanina S. S., Skipor O. B., Krivchik N. S., Skiba A. V. Analysis of the collection of Coriandrum sativum L. as a source of high-potential samples for selection research. International journal of biology and biomedical engineering. 2020;14:63-69.
DOI: https://doi.org/10.46300/91011.2020.14.10

7. Nikolaichenko N., Strizhkov N., Azizov Z., Muraveva M., Suminova N. The impact of progressive cultivation technology on the productivity of coriander on chernozems of the Lower Volga region. BIO Web of Conferences. 2021;37:00141. DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700141

8. Delibaltova V. Effect of sowing period on seed yield and essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) in South-East Bulgaria condition. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2020;LXIII(1):233-240. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_1/Art31.pdf

9. Silva M., Soares T., Gheyi H., Oliveira M., Santos C. Hydroponic cultivation of coriander using fresh and brackish waters with different temperatures of the nutrient solution. Engenharia Agrícola. 2020;40(6):674-683.
DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n6p674-683/2020

10. Скиба А. В., Кривда С. И., Кравченко Г. Д. Результаты сравнительного изучения разных сортов кориандра посевного (*Coriandrum Sativum* L.) в предгорной зоне Республики Крым. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2020;(21):33-46. Режим работы: https://elibrary.ru/item.asp?id=42962228
EDN: XLCOUB

11. Невкрытая Н. В., Кривда С. И., Бабанина С. С., Аметова Э. Д., Новиков И. А., Кривчик Н. С., Паштецкий В. С. Анализ коллекции кориандра посевного по селекционно ценным показателям. Таврический вестник аграрной науки. 2021;(2(26)):167-177.
DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-2-26-167-177 EDN: YQIHVV

12. Satyal P., Setzer W. N. Chemical compositions of commercial essential oils from Coriandrum sativum fruits and aerial parts. Natural Product Communications. 2020;15(7):1-12.
DOI: https://doi.org/10.1177/1934578X20933067

13. Kačániová M., Galovičová L., Ivanišová E., Vukovic N. L., Štefániková J., Valková V., Borotová P., Žiarovská J., Terentjeva M., Felšöciová S., Tvrdá E. Antioxidant, antimicrobial and antibiofilm activity of coriander (Coriandrum sativum L.) essential oil for its application in foods. Foods. 2020;9(3):282-301.
DOI: https://doi.org/10.3390/foods9030282

14. Кароматов И. Д. Кориандр как лечебное средство. Биология и интегративная медицина. 2016;(5):122-142. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=27638595 EDN: XGVEYV

15. Nguyen Q. H., Talou T., Evon P., Cerny M., Meran O. Fatty acid composition and oil content during coriander fruit development. Food Chemistry. 2020;326:127034. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127034

16. Збраилова Л. П., Картамышева Е. В., Лучкина Т. Н. Оценка и отбор исходного материала кориандра для создания новых сортов зоны недостаточного увлажнения Ростовской области. Зерновое хозяйство России. 2019;(5):55-61. DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-65-5-55-61 EDN: IUUOIN

17. Shams M., Ramezani M., Esfahan S., Zandi Esfahan E., Dursun A., Yildirim E. Effects of Climatic Factors on the Quantity of Essential Oil and Dry Matter Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Indian Journal of Science and Technology. 2016;9(6):1-4. DOI: https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i6/61301

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

20. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Кинчарова М. Н., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):39-47.
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-39-47 EDN: RHCRFS

References

1. Vinogradov D., Lupova E., Khromtsev D., Vasileva V. The influence of bio-stimulants on productivity of coriander in the Non-chernozem zone of Russia. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018;6(24):1078-1084.

2. Prakhova T. Ya. Ecological aspects of the productivity of nigella varieties in the conditions of the Middle Volga region. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2022;(2):36-40. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48507037

3. Khmelinskaya T. V., Smolenskaya A. E., Solovyeva A. E. Complex biochemical characteristics of *Coriandrum sativum* L. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021;182(1):80-90. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

4. Duwal A., Nepal A., Luitel S., Acharya S., Pathak R., Poudel P. R., Shrestha J. Evaluation of coriander (Coriandrum sativum L.) varieties for growth and yield parameters. Nepalese Journal of Agricultural Sciences. 2019;18:36-46. URL: https://www.researchgate.net/publication/337560937

5. Stepanova N. Yu. Agrobiologicheskaya otsenka sortov koriandra v usloviyakh Leningradskoy oblasti. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2021;(4):20-27. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-4-20-27

6. Krivda S. I., Nevkrytaya N. V., Pashtetsky V. S., Babanina S. S., Skipor O. B., Krivchik N. S., Skiba A. V. Analysis of the collection of Coriandrum sativum L. as a source of high-potential samples for selection research. International journal of biology and biomedical engineering. 2020;14:63-69.
DOI: https://doi.org/10.46300/91011.2020.14.10

7. Nikolaichenko N., Strizhkov N., Azizov Z., Muraveva M., Suminova N. The impact of progressive cultivation technology on the productivity of coriander on chernozems of the Lower Volga region. BIO Web of Conferences. 2021;37:00141. DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/20213700141

8. Delibaltova V. Effect of sowing period on seed yield and essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) in South-East Bulgaria condition. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2020;LXIII(1):233-240. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_1/Art31.pdf

9. Silva M., Soares T., Gheyi H., Oliveira M., Santos C. Hydroponic cultivation of coriander using fresh and brackish waters with different temperatures of the nutrient solution. Engenharia Agrícola. 2020;40(6):674-683. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n6p674-683/2020

10. Skiba A. V., Krivda S. I., Kravchenko G. D. Results of competitive variety testing of *Coriandrum sativum* L. varieties in the foothill zone of the republic of crimea. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavridy* = Transactions of Taurida Agricultural Science. 2020;(21):33-46. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42962228

11. Nevkrytaya N. V., Krivda S. I., Babanina S. S., Ametova E. D., Novikov I. A., Krivchik N. S., Pashtetskiy V. S. Analysis of the collection samples of *coriandrum sativum* l. by valuable breeding indicators. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2021;(2(26)):167-177. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-2-26-167-177

12. Satyal P., Setzer W. N. Chemical compositions of commercial essential oils from Coriandrum sativum fruits and aerial parts. Natural Product Communications. 2020;15(7):1-12. DOI: https://doi.org/10.1177/1934578X20933067

13. Kačániová M., Galovičová L., Ivanišová E., Vukovic N. L., Štefániková J., Valková V., Borotová P., Žiarovská J., Terentjeva M., Felšöciová S., Tvrdá E. Antioxidant, antimicrobial and antibiofilm activity of coriander (Coriandrum sativum L.) essential oil for its application in foods. Foods. 2020;9(3):282-301. DOI: https://doi.org/10.3390/foods9030282

14. Karomatov I. D. Coriander as remedy. Biologiya i integrativnaya meditsina. 2016;(5):122-142. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27638595

15. Nguyen Q. H., Talou T., Evon P., Cerny M., Meran O. Fatty acid composition and oil content during coriander fruit development. Food Chemistry. 2020;326:127034. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127034

16. Zbrailova L. P., Kartamysheva E. V., Luchkina T. N., Bushnev A. S. Estimation and selection of coriander initial material to develop new varieties for the insufficient humidity areas in the rostov region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(5):55-61. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-65-5-55-61

17. Shams M., Ramezani M., Esfahan S., Zandi Esfahan E., Dursun A., Yildirim E. Effects of Climatic Factors on the Quantity of Essential Oil and Dry Matter Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Indian Journal of Science and Technology. 2016;9(6):1-4. DOI: https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i6/61301

18. Tsitsilin A. N., Kovalev N. I., Korotkikh I. N., Basalaeva I. V., Babenko L. V., Savchenko O. M., Khazieva F. M. Research methodology during the introduction of medicinal and essential oil plants. Moscow: *FGBNU VILAR*, 2022. 64 p.

19. Kilchevskiy A. V., Khotyleva L. V. Ecological plant breeding. Minsk: *Tekhnalogiya*, 1997. 372 p.

20. Kincharov A. I., Demina E. A., Kincharova M. N., Taranova T. Yu., Mullayanova O. S., Chekmaso-va K. Yu. Methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes under global climate warming. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(4):39-47. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-39-47

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

Information about the authors

Tatyana Ya. Prakhova, DSc of 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

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.223-230
УДК 633.14:632.482.31

(cc) BY

Влияние степени поражения спорыньей на элементы продуктивности сортов озимой ржи

© 2023. Л. М. Щеклеина✉, Т. К. Шешегова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г.Киров, Российская Федерация

В условиях Кировской области (2020-2022 гг.) изучали 21 сорт озимой ржи селекции российских научных учреждений по характеру взаимоотношений в патосистеме «Secale cereale* L. *– Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.». При искусственной инокуляции цветков суспензией патогена все изучаемые сорта поражались спорыньей в пределах от 3,17 (Графит ФП) до 34,69 % (Саратовская 10) при засоренности зерна склероциями – от 0,13 (Графит ФП, Перепел) до 1,87 % (Янтарная), что свидетельствует об их восприимчивости к болезни. Однако с учетом признаков «поражение спорыньей», «засоренность зерна склероциями» и «урожайность» для дальнейшей селекции на устойчивость к спорынье можно рекомендовать сорта Перепел, Лика и Графит ФП селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Обнаружено влияние генотипа на биометрию склероциев. Об этом косвенным образом свидетельствует значительная изменчивость их параметров у разных сортов ржи, что следует учитывать при механической очистке зерна. На примере сорта Графит установлено достоверное (P ≥ 095) снижение озерненности и продуктивности колоса при формировании в нем более двух склероциев, массы 1000 зерен – четырех склероциев. При увеличении их количества до 11 штук эта закономерность сохранялась, и вредоносность спорыньи достигала 64,05 % (озерненность колоса), 79,60 % (продуктивность колоса) и 46,32 % (крупность зерна). В процессе регрессионного анализа выявлено, что с увеличением зараженности колоса на 1-2 склероция количество зерен в колосе снижается на 4,96 шт., масса зерна с колоса – на 0,26 г, крупность зерна – на 2,49 г. Подобные расчеты с предварительным анализом степени поражения растений могут иметь прогностическое значение при оценке потенциальной вредоносности спорыньи.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., *сорта*, *поражение, засорение зерна склероциями, биометрия склероциев, озерненность колоса, масса зерна с колоса, крупность зерна*

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Влияние степени поражения спорыньей на элементы продуктивности сортов озимой ржи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):223-230.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.223-230

Поступила: 24.01.2023 Принята к публикации: 14.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Influence of the degree of ergot damage on the productivity elements of winter rye varieties

© 2023. Lucia M. Shchekleina✉, Tatyana K. Sheshegova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Under the conditions of the Kirov region in 2020-2022 there were studied 21 varieties of winter rye bred by Russian scientific institutions according to the nature of the relationship in the patho-system "Secale cereale* L. *– Claviceps purpurea (Fr.) Tul.". Under artificial inoculation of flowers with a suspension of the pathogen all the studied varieties were affected by ergot in the range from 3.17 (Graphite FP) to 34.69 % (Saratovskaya 10), with grain contamination with sclerotia – from 0.13 (Graphite FP, Quail) up to 1.87 % (Amber), which indicates their susceptibility to the disease. However, taking into account the signs of "damage by ergot", "contamination of grain with sclerotia" and "yield" for further breeding for ergot resistance, it is possible to recommend varieties Perepel, Lika and Graphite FP (bred by the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. The influence of the genotype on the biometry of sclerotia has been revealed. This is indirectly evidenced by the significant variability of their parameters in different varieties of rye, which should be taken into account during the mechanical cleaning of grain. Using the Graphite variety as an example, a significant (P ≥ 095) decrease in the grain content and productivity of an ear has been established when more than two sclerotia are formed in it, and four sclerotia form 1000 grains. With an increase in their number to 11 pieces, this pattern remained unchanged, and the harmfulness of ergot reached 64.05 % (ear grain size), 79.60 % (ear productivity) and 46.32 % (grain size). In the process of regression analysis,

it has been established that with an increase in infection of the ear by 1-2 sclerotia, the number of grains in the ear decreases by 4.96 pieces, the mass of grain per ear – by 0.26 g, the grain size – by 2.49 g. The similar calculations with a preliminary analysis of the degree of plant damage can be of prognostic value in assessing the potential harmfulness of ergot.

Keywords: *Secale cereale* L., *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., *cultivars, infection, grain contamination with sclerotia, sclerotia biometry, ear grain size, grain weight per ear, grain size*

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

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

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

For citation: Shchekleina L. M., Sheshegova T. K. Influence of the degree of ergot damage on the productivity elements of winter rye varieties. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):223-230. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.223-230

Received: 24.01.2023 Accepted for publication: 14.03.2023 Published online: 25.04.2023

Спорынья зерновых культур, вызываемая грибом *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. (класс *Ascomycetes)*, в последние годы прогрессирует во многих регионах Российской Федерации [1, 2, 3] и за рубежом, особенно в республиках Прибалтики, западных областях Беларуси, странах Центральной Европы [4, 5, 6]. Экономически значимый вред болезнь приносит растениям озимой ржи, но периодически поражает посевы пшеницы, тритикале, ячменя [7, 8, 9].

Данные о вредоносности этой болезни часто бывают занижены, поскольку о ней судят по проценту колосьев со склероциями. Однако при обмолоте зерна часть склероциев осыпается, попадает в почву или сохраняется с семенами в виде биологической примеси [10]. Уровень ущерба от спорыньи усиливается при сочетании основных факторов: наличия инфекции *C. purpurea* в природе (склероции на поверхности почвы и в семенном материале), нарушение агротехнологии (минимальные способы обработки почвы, короткоротационные зернонасыщенные севообороты, посев свежеубранными семенами и др.), благоприятные погодные условия в период прорастания склероциев и при заражении завязи.

Прямые потери урожая происходят за счет уменьшения продуктивности колоса, вследствие замещения некоторых зерен склероциями. Кроме того, на формирование склероциев расходуется большое количество питательных веществ, в результате чего задерживается развитие здоровых цветков, а зерно в них не завязывается либо формируется более мелкое и щуплое [11].

В исследованиях зарубежных ученых показан уровень ущерба от спорыньи в посевах озимой ржи: от 6 % в Прибалтике [12] и 13 % в Беларуси[1] до 25 % в Германии[2]. В России болезнь ежегодно фиксируется в Поволжском и Центральном регионах, а также в областях, граничащих с Беларусью [13]. Так, в Республике Татарстан с 2002 г. максимальное поражение посевов озимой ржи варьировало от 1,68 до 3,68 % [14]. В Кировской области отмечают ежегодное проявление болезни при среднем поражении посевов ржи от 0,02 до 1,70 %, при максимальном – 5,0-8,0 % [10]. Следует отметить, что при сильном поражении (более 3 склероциев в колосе) их содержание в урожае превышает допуски для продовольственного и фуражного зерна. Поэтому в настоящее время национальные стандарты исключают наличие склероциев спорыньи в оригинальных и высокорепродукционных семенах [15, 16, 17]. Биологическая опасность этой болезни заключается в том, что примесь склероциев в зерне или муке делает их ядовитыми для человека и животных [8].

Цель исследований – выявить уровень вредоносности спорыньи в зависимости от степени поражения колоса и генотипа озимой ржи.

Новизна исследований – впервые в условиях Кировской области изучено влияние спорыньи на элементы продуктивности сортов озимой ржи при искусственной инокуляции завязи водно-споровой суспензией гриба *C. purpurea*. Выявлены наименее поражаемые сорта, перспективные для селекции на устойчивость к спорынье. Статистически доказан уровень снижения элементов продуктивности колоса при разной степени его инфицирования.

[1]Буга С. Ф., Немкович А. И. Спорынья озимой ржи. НТИ и рынок. 1997;(7):22-23.
[2]Jank B. Mutterkorn – ein Problem in Durumwelzen im Jahre 1985. Gusunde Pflanzen. 1986;38(5):219-221.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2020-2022 гг. Изучали 21 сорт озимой ржи отечественной селекции, отличающиеся по восприимчивости к спорынье. Посев проводили на фитопатологическом участке на делянках площадью 1 м^2 в трехкратной повторности. При создании инфекционного фона применяли авторскую методику [18] с использованием патогенных штаммов *C. purpurea* (Р-20/с, Р-22) из рабочей коллекции лаборатории иммунитета и защиты растений. Инокулюм в виде водно-споровой суспензии с титром 10^5 конидий/мл вносили с помощью шприца в завязь цветков средней части колоса при формировании зеленых пыльников (фаза 51 по шкале Zadoks). В каждом повторении сорта заражали по 10-15 растений.

В фазу восковой спелости зерна проводили анализ проявления спорыньи на сортах. Учитывали два показателя: «поражение» – в процентах по отношению к общему количеству инокулированных растений и «засоренность зерна склероциями» – в процентах к массе зерна. Характеристику по устойчивости к спорынье давали на основании шкалы Т. Миеданер с соавт. (T. Miedaner et al.) [19]. Далее анализировали влияние интенсивности поражения спорыньей на величины урожайобразующих показателей (озерненность колоса, масса зерна с колоса и крупность зерна) и определяли биометрические показатели склероциев (длина, ширина, масса).

Статистическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного и регрессионного анализов с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение. Выявлено, что при искусственной инокуляции *C. purpurea* данный набор изучаемых сортов поражался спорыньей в пределах от 3,17 до 34,69 % (табл. 1), хотя ранее иммунологические показатели на отчасти другом генофонде озимой ржи были выше [3]. Следует отметить, что на проявление этой болезни значительное влияние оказывают сезонные климатические факторы. Наши расчеты показали, что в растительно-микробных взаимодействиях «*Secale cereale – Claviceps purpurea*» вклад фактора «год» в формирование величины признаков «поражение» и «засоренность зерна склероциями» достигал 36,6 и 29,1 %, вклад фактора «генотип» – 17,1 и 27,5 % соответственно [18]. К сожалению, высокая зависимость проявления спорыньи от условий года и неучтенных факторов ограничивают возможности классической селекции в данном направлении. Поэтому, как и в отношении других болезней, возбудителями которых являются неспециализированные патогены, селекция ржи должна быть ориентирована на поиск толерантных популяций, а также биотипов непоражаемых или с наименьшим количеством склероциев в колосе. Среди анализируемого генофонда, величина признака «поражение» у новых популяций селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока варьировала от 3,17 (Графит ФП) до 21,57 % (Батист), сортов других НИУ РФ – от 11,90 (Викрас) до 34,69 % (Саратовская 10). Несмотря на то, что согласно шкале [19] весь изученный генофонд характеризуется восприимчивостью к спорынье, определенную иммунологическую ценность представляют новые популяции селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока – Графит ФП, Перепел и Лика. В течение трех лет они поражались существенно меньше стандарта и других сортов.

Для более объективной характеристики изучаемых генотипов по устойчивости к спорынье мы провели анализ засоренности зерновой массы склероциями. Признак варьирует в широких пределах – от 0,13 (Графит ФП, Перепел) до 1,87 % (Янтарная), что также свидетельствует о существенных различиях по восприимчивости к болезни.

С учетом двух иммунологических признаков для дальнейшей селекции в этом направлении можно рекомендовать сорта Перепел, Лика, Графит ФП, Садко и Чусовая. Следует отметить, что популяция Перепел создана с участием источников, выделенных на инфекционном фоне *C. purpurea*; Графит ФП – с привлечением источников устойчивости к *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett и *C. Purpurea.* Сорт Лика проходит государственное испытание с 2021 г.

Высокой урожайностью (1010…1120 г/м^2) отличались сорта Перепел, Лика, Батист, Графит ФП, Симфония, Графит, Эврика и Марусенька, что достоверно (при $P \geq 0,95$) выше стандарта Фаленская 4. Наименее продуктивными (700…840 г/м^2) были восприимчивые к спорынье сорта, среди которых Янтарная, Викрас, Саратовская 7 и Солнышко, что косвенно подтверждает обусловленность значительной вариабельности признака «урожайность» патогенезом спорыньи.

Таблица 1 – **Проявление спорыньи при искусственной инокуляции и влияние болезни на продуктивность сортов озимой ржи (в среднем за 2020-2022 гг.) /**
Table 1 – **The manifestation of ergot during artificial inoculation and the impact of the disease on the productivity of winter rye varieties (average for 2020-2022)**

Сорт / Variety	*Происхождение / Origin*	*Поражение спорыньей, % / Ergot damage, %*	*Засоренность зерна склероциями, % / Grain contamination with sclerotia, %*	*Масса зерна, г/м² / Grain weight, g/m²*	*Биометрия 1 склероция / Biometrics 1 sclerotia*		
					длина, мм / length, mm	*ширина, мм / width, mm*	*масса, г / weight, g*
Фаленская 4 – стандарт / Falenskaya 4 – standard	ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока / Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky	16,67	0,30	740,0	16,67±5,55	2,67±0,33	0,09±0,05
Фаленская крупнозерная / Falenskaya krupnozernaya		9,84	0,58	840,0	21,33±2,91	3,33±0,67	0,15±0,07
Батист / Batist		21,57	0,75	1060*	25,33±8,82	3,67±0,88	0,25±0,14
Лика / Lika		8,33	0,29	1080*	19,00±5,86	3,67±0,88	0,18±0,12
Гармония / Garmoniya		14,89	0,49	760	19,33±4,06	3,33±0,67	0,14±0,06
Симфония / Simfoniya		18,92	0,38	1040*	20,00±4,93	3,33±0,33	0,14±0,08
Перепел / Perepel		3,85	0,13	1120*	14,00±4,93	3,33±0,88	0,10±0,06
Графит / Grafit		14,63	0,47	1020*	21,00±6,81	3,00±0,58	0,15±0,07
Графит ФП / Grafit FP		3,17	0,13	1060*	14,33±2,60	2,67±0,33	0,06±0,02
Садко / Sadko		7,14	0,54	840	17,00±3,21	3,33±0,33	0,11±0,05
Дана / Dana	Ленинградский НИИСХ / Leningrad Research Agriculture Institute	26,09	0,86	1000*	17,00±5,86	3,33±0,88	0,15±0,09
Эра / Era		23,40	0,78	920	22,33±9,35	4,00±1,53	0,28±0,23
Эврика / Evrika		11,11	0,52	1010*	18,00±9,07	3,00±1,00	0,16±0,12
Янтарная / Yantarnaya	Уральский НИИСХ / Ural Research Institute of Agriculture	33,33	1,87	700	17,67±6,17	3,67±0,88	0,18±0,11
Чусовая / Chusovaya		6,67	0,19	840	16,67±5,67	3,33±0,67	0,13±0,07
Дарвет / Darvet		26,32	0,92	780	17,93±8,53	4,00±0,58	0,24±0,15
Викрас / Vikras		11,90	0,45	720	22,33±6,01	4,00±1,15	0,17±0,07
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока / Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region	16,67	0,31	900	16,33±2,73	3,00±1,00	0,08±0,04
Саратовская 10 / Saratovskaya 10		34,69	1,78	840	20,67±4,33	3,67±0,88	0,21±0,10
Солнышко / Solnyshko		27,08	1,07	820	21,33±6,98	4,00±1,00	0,15±0,08
Марусенька / Marusen'ka		13,11	0,47	1000*	19,67±6,17	3,00±0,58	0,11±0,07
$НСР_{05}$ / LSD_{05}		4,43	0,13	-	-	-	-

* Превышение достоверно к стандарту Фаленская 4 при P ≥ 095 / Significant excess to the Falenskaya 4 standard at P ≥ 095

Как правило, уровень инфекционной нагрузки *C. purpurea* определяет не только количество склероциев в природе, но и их размер, так как крупные склероции образуют больше головчатых стром с плодовыми телами и аскоспорами[3, 4].

Биометрические показатели склероциев имеют первостепенное значение при механической очистке зерновой массы. Очистку и сортировку зерна ржи от различных примесей осуществляют преимущественно с помощью воздушно-решетно-триерных машин, но иногда используются пневмосортировальные столы, фотосепараторы и другие устройства. При этом следует учитывать, что физико-механические свойства склероциев спорыньи имеют близкие значения аналогичным параметрам зерна ржи, что затрудняет их разделение [20].

В наших исследованиях масса одного склероция изменялась от 0,06 до 0,28 г. Наиболее крупными (0,20…0,28 г) они формировались на сортах Эра, Батист, Дарвет, Саратовская 10; самыми легковесными (0,06…0,10 г) – Графит ФП, Перепел, Саратовская 7 и Фаленская 4; самыми длинными (25 мм) – у сорта Батист, короткими (14,00…14,33 мм) – Перепел, Графит ФП. Можно полагать, что исходя из биометрии склероциев, наиболее трудноотделимыми при разных способах механической очистки зерна они могут быть у сортов Эра, Дарвет и Батист, вероятно, из-за их высокой массы.

На примере популяции Графит выполнен более детальный анализ изменчивости элементов продуктивности растений при разной степени поражения колоса спорыньей. В непораженном колосе количество зерен в среднем составило 59. Значения признаков «озерненность колоса» и «масса зерна с колоса» достоверно снижались уже при формировании в нем двух склероциев (табл. 2). При наличии одного склероция количество зерен в колосе снижалось на 1,33 шт., продуктивность колоса – на 0,07 г. Далее при увеличении количества склероциев до 11 штук эта закономерность сохранялась, и вредоносность спорыньи достигла 64,05 % (озерненность колоса) и 79,60 % (продуктивность колоса).

Таблица 2 – **Влияние степени поражения спорыньей на элементы продуктивности растений озимой ржи сорта Графит (в среднем за 2020-2022 гг.) /**
Table 2 – **Influence of the degree of ergot damage on the elements of productivity of winter rye plants of the Graphit variety (average for 2020-2022)**

Количество склероциев в колосе / The number of sclerotia in the spike	*Количество зерен в колосе / Number of grains in the ear*		*Масса зерна с колоса / The mass of grain per the ear*		*Масса 1000 зерен / Weight of 1000 grains*	
	шт. / pcs	*вредоносность, % / harmfulness, %*	*г / g*	*вредоносность, % / harmfulness, %*	*г / g*	*вредоносность, % / harmfulness, %*
Непораженные колосья / Unaffected ears						
0 (контроль) / 0 (control)	59,33±2,40	-	2,50±0,07	-	42,23±0,50	-
Пораженные колосья / Affected ears						
1	58,00±1,53	2,24	2,43±0,02	2,80	41,90±0,97	0,78
2	52,00±1,73	12,35	2,12±0,08	15,20	40,77±0,20	3,46
3	42,33±0,88	28,65	1,70±0,04	32,00	39,87±0,20	5,59
4	38,33±0,88	35,40	1,41±0,03	43,60	36,53±0,15	13,50
6	35,00±0,58	41,01	1,23±0,02	50,80	34,67±0,33	17,91
7	32,33±3,53	45,51	0,98±0,11	60,80	30,30±0,15	28,25
8	25,00±0,58	57,86	0,76±0,03	69,60	26,87±0,59	36,37
11	21,33±2,40	64,05	0,51±0,06	79,60	22,67±1,76	46,32
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	5,81	-	0,18	-	2,16	-
P, %	4,79	-	3,98	-	2,05	-

[3]Немкович А. И. Биологическое обоснование защиты озимой ржи от спорыньи: автореф. дис. … канд. биол. наук. Прилуки: Белорусский НИИ защиты растений, 1999. 18 с.
[4]Пшедецкая Л. И. Биологические особенности спорыньи на культурных и луговых злаках, как материал для обоснования мероприятий по борьбе с ней: автореф. дис. … канд. биол. наук. Л., 1953. 20 с.

По признаку «крупность зерна» также наблюдали тенденцию к снижению (на 0,33-19,56 г), но достоверное изменение отмечалось только при формировании четырех и более склероциев в колосе. У непораженных растений сорта Графит масса 1000 зерен в среднем составила 42,23 г. При формировании 11 склероциев крупность зерна уменьшалась наполовину, и вредоносность спорыньи по этому признаку достигала 46,32 %.

Регрессионный анализ также показывает уровень возможного снижения значений показателей продуктивности растений в связи с поражением колоса спорыньей (табл. 3). Уравнения линейного тренда между количеством склероциев в колосе, массой зерна с колоса и количеством зерен в колосе подтвердили, что с увеличением зараженности колоса на 1-2 склероция количество зерен в колосе снижается на 4,96 шт., масса зерна с колоса – на 0,26 г, крупность зерна – на 2,49 г. Величина коэффициента детерминации R^2 = 0,931-0,988 характеризуется как высокая. После мониторинга ржаных посевов по степени поражения растений подобные расчеты могут иметь прогностическое значение для оценки потенциальной вредоносности спорыньи.

Таблица 3 – **Зависимость показателей продуктивности растений озимой ржи от степени поражения колоса спорыньей** /
Table 3 – **Dependence of indicators of productivity of winter rye plants on the degree of ergot damage of ears**

Показатель / Indicator	*Уравнение регрессии / Regression Equation*	*Коэффициент детерминации, R^2 / Determination coefficient, R^2*
Количество зерен в колосе / The number of grains in the ear	y = -4,9617x + 65,197	0,981
Масса зерна с колоса / The mass of grain per ear	y = -0,2617x + 2,8083	0,988
Масса 1000 зерен / Weight of 1000 grains	y = -2,4867x + 47,533	0,931

Заключение. Таким образом, установлено существенное снижение озерненности и продуктивности колоса при формировании в нем более двух склероциев, массы 1000 зерен – четырех. Вредоносность спорыньи достигала 2,40…64,05 % (озерненность колоса), 2,80…79,60 % (продуктивность колоса) и 0,78…46,32 % (крупность зерна). Для дальнейшей селекции на устойчивость к спорынье рекомендуются сорта Перепел, Лика, Графит ФП, Садко и Чусовая, которые при искусственной инокуляции *C. purpurea* поражаются значительно меньше, а новые популяции Перепел, Лика и Графит ФП селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока отличаются также высокой урожайностью (1060-1120 г/м^2). При механической очистке ржи следует учитывать биометрические особенности склероциев спорыньи, характерные для зерновой массы того или иного сорта.

Список литературы

1. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Илалова Л. В. Фитосанитарный мониторинг наиболее вредоносных болезней озимой ржи в республике Татарстан. Вестник КрасГАУ. 2019;(9):27-34. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=41172898 EDN: UMBDMO

2. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Развитие спорыньи на низкопентозановой диплоидной озимой ржи. Зерновое хозяйство России. 2021;(4):73-78.
DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78 EDN: GCKNZY

3. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Сорта озимой ржи, умеренно устойчивые к спорынье. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):229-238.
DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-229-238 EDN: DHRDBQ

4. Урбан Э. П., Гордей С. И., Артюх Д. Ю., Гордей И. С. Направления, методы и результаты селекции ржи (*Secale cereal* L.) в Беларуси. Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2022;60(2):160-170. DOI: https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170 EDN: VTNHCN

5. Kodisch A., Wilde P., Schmiedchen B., Fromme F.-J., Rodemann B., Tratwal A., Oberforster M., Wieser F., Schiemann A., Jorgensen N., Miedaner T. Ergot infection in winter rye hybrids shows differential contribution of male and female genotypes and environment. Euphytica. 2020;216:65.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-020-02600-2

6. Miedaner T., Kodisch A., Raditschnig A., Eifler J. Ergot alkaloid contents in hybrid rye are reduced by breeding. Agriculture. 2021;11(6):526. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture11060526

7. Кадыров А. М. Изучение устойчивости ярового ячменя к поражению спорыньей (*C. purpurea*). Земледелие и селекция в Белоруссии. 2003;(39):225-229.

8. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Антипова Т. В., Желифонова В. П., Козловский А. Г. Поиск генотипов ржи и пшеницы, устойчивых к *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и не накапливающих эргоалкалоиды в склероциях гриба. Сельскохозяйственная биология. 2021;56(3):549-558.
DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.549rus EDN: FNETQQ

9. Щеклеина Л. М. Спорынья в посевах яровой пшеницы и поиск устойчивых сортов. Биосфера. 2022;14(4):432-435. Режим доступа: http://21bs.ru/index.php/bio/article/view/765/533 EDN: FADDSW

10. Щеклеина Л. М. Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):134-143. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143 EDN: LBQKTQ

11. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Проблема спорыньи злаков (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.): история и современность (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2013;(1):5-12.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19100654&ysclid=ld1sbrs11y443494750 EDN: QBZMBJ

12. Dabkevičius Z., Semaškiene R. Occurrence and harmfulness of ergot (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) in cereal crops of Lithuania. Biologie. 2001;(3)8-10. URL: elibrary.lt/resursai/LMA/Biologija/B-08.pdf

13. Назарова Л. Н., Соколова Е. А. Прогрессирующие грибы, паразитирующие на зерне. Агро XXI. 2000;(4):2-3.

14. Хазиев А. З., Пономарева М. Л. Ущерб от спорыньи на озимой ржи и меры его предупреждения. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2007;2(2):80-82.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=12899922 EDN: KWHNGL

15. Буга С. Ф. Нельзя недооценивать протравливание семян. Защита и карантин растений. 2007;(3):30-31.

16. Гончаренко А. А. Современное состояние производства, методы и перспективы направления селекции озимой ржи в РФ. Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка: мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. Уфа: Башкирский НИИСХ, 2009. С. 40-76.

17. Miedaner T., Geiger H. H. Biology, genetics and manogement of ergot (*Claviceps spp.*) in rye, sorghum and pearl mille. Toxins. 2015;(7):659-778.

18. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Селекция озимой ржи на устойчивость к спорынье: методическое пособие. Киров: ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2018. 27 с.

19. Miedaner T., Mirdita V., Geiger H. H. Strategies in breeding for ergot (*Claviceps purpurea*) resistance. Book of abstracts: International Symposium on Rye Breeding & Genetics Minsk: Belarus. 2010. P. 83.

20. Сысуев В. А., Саитов В. Е., Фарафонов В. Г., Саитов А. В. Статистическая оценка интервала значений удельной массы зерна озимой ржи Фаленская 4 и склероциев спорыньи. Успехи современного естествознания. 2017;(10):48-53.
Режим доступа: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36559&ysclid=lejqmts5b7273931594 EDN: ZQNRXZ

References

1. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Ilalova L. V. Phytosanitary monitoring of the most harmful winter rye diseases in the republic of Tatarstan. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2019;(9):27-34. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41172898

2. Kobylyansky V. D., Solodukhina O. V. Ergot development on low-pentosan diploid winter rye. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(4):73-78. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78

3. Shchekleina L. M., Sheshegova T. K. Winter rye cultivars moderately resistant to ergot. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(4):229-238. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-229-238

4. Urban E. P., Gordey S. I., Artyukh D. Yu., Gordey I. S. Directions, methods and results of rye (*Secale cereale* L.) breeding in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. 2022;60(2):160-170. (In Belarus).
DOI: https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170

5. Kodisch A., Wilde P., Schmiedchen B., Fromme F.-J., Rodemann B., Tratwal A., Oberforster M., Wieser F., Schiemann A., Jorgensen N., Miedaner T. Ergot infection in winter rye hybrids shows differential contribution of male and female genotypes and environment. Euphytica. 2020;216:65.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-020-02600-2

6. Miedaner T., Kodisch A., Raditschnig A., Eifler J. Ergot alkaloid contents in hybrid rye are reduced by breeding. Agriculture. 2021;11(6):526. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture11060526

7. Kadyrov A. M. Study of ergot resistance of spring barley. (*C. purpurea*). *Zemledelie i selektsiya v Belorussii*. 2003;(39):225-229. (In Belarus).

8. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Antipova T. V., Zhelifonova V. P., Kozlovskiy A. G. Search for rye and wheat genotypes which are resistant to *Claviceps purpurea* (FR.) Tul. and hamper accumulation of ergoalkaloids in sclerotia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2021;56(3):549-558. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.549rus

9. Shchekleina L. M. Ergot in spring wheat and the search for resistant wheat varieties. *Biosfera*. 2022;14(4):432-435. (In Russ.). URL: http://21bs.ru/index.php/bio/article/view/765/533

10. Shchekleina L. M. Influence of weather factors on separate periods of fungus Claviceps purpurea (Fr.) Tul development and level of ergot harmfulness in Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(2):134-143. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143

11. Shchekleina L. M., Sheshegova T. K. The problem of ergot grains (*Claviceps purpurea (*Fr.*)* Tul.): past and present (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2013;(1):5-12. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19100654&ysclid=ld1sbrs11y443494750

12. Dabkevičius Z., Semaškiene R. Occurrence and harmfulness of ergot (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) in cereal crops of Lithuania. Biologie. 2001;(3)8-10. URL: elibrary.lt/resursai/LMA/Biologija/B-08.pdf

13. Nazarova L. N., Sokolova E. A. Progressive fungi parasitizing on grain. *Agro XXI*. 2000;(4):2-3. (In Russ.).

14. Khaziev A. Z., Ponomareva M. L. Ergot damage of winter rye and measures of prevention. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2007;2(2):80-82. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=12899922

15. Buga S. F. Seed dressing should not be underestimated. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2007;(3):30-31. (In Russ.).

16. Goncharenko A. A. Modern state of production, methods and prospects for the direction of winter rye breeding in the Russian Federation. Winter rye: breeding, seed production, technology and processing: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Ufa: *Bashkirskiy NIISKh*, 2009. pp. 40-76.

17. Miedaner T., Geiger H. H. Biology, genetics and manogement of ergot (*Claviceps spp.*) in rye, sorghum and pearl mille. Toxins. 2015;(7):659-778.

18. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Kedrova L. I., Utkina E. I. Selection of winter rye for resistance to ergot: methodological guide. Kirov: *FGBOU VO Vyatskaya GSKhA*, 2018. 27 p.

19. Miedaner T., Mirdita V., Geiger H. H. Strategies in breeding for ergot (*Claviceps purpurea*) resistance. Book of abstracts: International Symposium on Rye Breeding & Genetics Minsk: Belarus. 2010. P. 83.

20. Sysuev V. A., Saitov V. E., Farafonov V. G., Saitov A. V. Statistical evaluation of value interval of grain specific weight of winter rye Falenskaya 4 and ergot sclerotia. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2017;(10):48-53. (In Russ.). URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36559&ysclid=lejqmts5b7273931594

Сведения об авторах

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

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

Information about the authors

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

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

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.231-239
УДК 633.111.1:631.524.01:632.4

(cc) BY

Анализ комбинационной способности гибридов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев и продуктивности

© 2023. А.В. Харина✉, Л.В. Волкова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

В повышении эффективности селекционных работ по созданию сортов яровой мягкой пшеницы большое значение имеет информация о комбинационной способности исходного материала. В 2021-2022 гг. в условиях Кировской области изучали общую и специфическую комбинационную способность 8 сортов и 28 гибридов второго поколения мягкой яровой пшеницы по степени поражения септориозом листьев, крупности зерна и урожайности. Исследования проводили в естественных условиях развития на листьях Parastagonospora nodorum, так как молекулярно-генетически установлена принадлежность возбудителя септориоза именно к этому виду. В результате проведённых исследований для дальнейшей селекционной работы выделены 14 устойчивых гибридов F_2, характеризующихся средними значениями индекса устойчивости и медленным нарастанием инфекции. По комплексу селекционно-иммунологических признаков выделен гибрид Росинка 2 × Терция, сочетающий устойчивость к септориозу с высокой массой 1000 семян (41,6 г) и урожайностью (410,0 г/м^2). Особо отмечен толерантный гибрид Степная 50 × Дарья, который при высокой степени поражения (34,2 %) сформировал крупное зерно (42,6 г) и максимальную (411,1 г/м^2) для опыта урожайность. Проведённый дисперсионный анализ полученных данных показал, что сорт яровой пшеницы Терция (Россия) обладает существенно более высокой общей комбинационной способностью по всем изученным признакам и может быть их источником в селекционных программах. Кроме того, сорт Epos (Германия) наиболее эффективен как источник устойчивости к септориозу; Эгисар 29, Нива 2, Степная 50 и Росинка 2 (Россия) – источники крупности зерна; Дарья (Беларусь) – источник высокой урожайности. В результате анализа показателя доминирования у большинства изучаемых гибридов обнаружено аддитивное действие генов на проявление устойчивости к поражению септориозом листьев и крупности семян. Эффект гетерозиса по устойчивости к болезни отмечен у 21,4 %, по массе 1000 семян – у 42,9 %; продуктивности – у 50,0 % изученных гибридных комбинаций.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *Parastagonospora nodorum*, *общая комбинационная способность, специфическая комбинационная способность, индекс устойчивости, масса 1000 семян, масса зерна с 1 м^2*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Волкова Л. В. Анализ комбинационной способности гибридов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев и продуктивности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):231-239. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.231-239

Поступила: 22.12.2022 Принята к публикации: 07.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Analysis of the combinational ability of spring soft wheat hybrids according to the resistance to leaf *Septoria* and plant productivity

© 2023. Anastasiya V. Kharina✉, Lyudmila V. Volkova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In increasing the efficiency of breeding work on the creation of spring soft wheat varieties information about the combinational ability of the source material is of great importance. In 2021-2022 in the conditions of the Kirov region the general and specific combinational ability of 8 varieties and 28 hybrids of the second generation of spring soft wheat was studied according to the degree of leaf septoria damage, grain size and yield. The studies were carried out under natural conditions of development on the leaves of Parastagonospora nodorum as the molecular-genetic affiliation of the causative agent of septoria blotch to this species had been established. As the result of the conducted studies, for further breeding work there were selected 14 resistant F2 hybrids characterized by average values of the resistance index and a slow growth of infection. According to the complex of selective-immunological traits, the hybrid Rosinka 2 × Tertsiya was isolated, combining resistance to septoria with a high mass of 1000 seeds (41.6 g) and yield (410.0 g/m^2). The tolerant hybrid of the Stepnaya 50 × Daria was particularly noted, which with a high degree of damage (34.2 %) formed a large grain (42.6 g) and the maximum yield for the experiment (411.1 g/m^2). The conducted dispersion analysis of the data obtained has shown that the spring wheat variety Tertsiya (Russia) has a significantly high overall combinational ability (OCA) by all the studied traits and can be their source in breeding programs. Moreover, the Epos variety (Germany) is the most effective as a source of resistance to septoria;

Egisar 29, Niva 2, Stepnaya 50 and Rosinka 2 (Russia) are sources of grain size; Daria (Belarus) is a source of high yield. As the result of the analysis of the dominance index in most of the studied hybrids, the additive effect of genes on the manifestation of resistance to leaf septoria and seeds size was found. The effect of heterosis by disease resistance was observed in 21.4 %, by weight of 1000 seeds – in 42.9 % and by productivity – in 50.0 % of the studied hybrid combinations.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Parastagonospora nodorum, total combinational ability, specific combinational ability, stability index, mass of 1000 seeds, grain mass per 1 m*^{2}

***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-2022-0001).

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*:** Kharina A. V., Volkova L. V. Analysis of the combinational ability of spring soft wheat hybrids according to resistance to leaf *Septoria* and plant productivity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):231-239. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.24.2.231-239

Received: 22.12.2022 Accepted for publication: 07.03.2023 Published online: 25.04.2023

С начала 1970-х годов на посевах пшеницы начало прогрессировать такое заболевание, как септориоз (*Septoria tritici* Desm., синоним – *Zymoseptoria tritici* (Desm.) и *Stagonospora nodorum* (Berk.), которое в настоящее время стало доминирующим в большинстве регионов России. Виды патогенов отличаются по биологическим требованиям к климатическим условиям среды, поэтому *S. tritici* чаще встречается в более теплых южных регионах РФ, *P. nodorum* – в северных и восточных [1]. Согласно многолетним исследованиям, на северо-востоке европейской части России основным возбудителем септориоза пшеницы является *P. nodorum,* в Волго-Вятском регионе его встречаемость в видовой структуре возбудителей составляет 59,7-64,4 % [2]. Кроме того, *P. nodorum* не имеет органотропной специализации и поражает не только листья, но и стебли, колосковые чешуйки и семена пшеницы [2, 3]. Эти биоэкологические факторы патогена являются основанием для выбора видов *Septoria* при исследованиях в конкретных регионах.

Потери урожая от септориоза в годы эпифитотий достигают 20-40 % [4]. Внедрение в производство длительно устойчивых сортов пшеницы зависит от успехов селекции на устойчивость к этой болезни, и прежде всего от наличия исходного материала [5]. Его подбор на основе комбинационной способности родительских форм – важнейший этап в селекции пшеницы. На результатах анализа гибридов F_1 и F_2 можно прогнозировать селекционную ценность исходных форм и провести отбор в последующих поколениях [6, 7, 8, 9]. Изучение комбинационной способности позволяет также иметь представление о донорских способностях сортов, роли и характере взаимодействия генов в наследовании признаков и свойств организма [10, 11]. В исследованиях многих авторов отмечалось преимущество этого метода при оценке исходного селекционного материала на элементы продуктивности [12, 13, 14], длину стебля [15], продуктивную кустистость [16] и устойчивость к полеганию [17]. Комбинационная способность бывает общей (ОКС) и специфической (СКС). Под общей комбинационной способностью понимается средняя ценность родительских сортов в гибридных комбинациях, а под специфической – случаи, когда конкретные гибриды оказываются относительно лучше или хуже, чем можно было ожидать на основе среднего качества сортов, участвующих в скрещиваниях. Различия между линиями по ОКС сводятся к аддитивной генетической вариансе, характеризующей исходную популяцию, а различия по СКС – к неаддитивной вариансе (доминирование + взаимодействие). В силу этого при повышении коэффициента инбридинга возрастает роль именно последней[1].

Разработка методов оценки ОКС и СКС и соотношения между ними открывает новые возможности и для прогнозирования гетерозисного эффекта в потомстве от скрещивания различных генетически отличающихся линий[2].

[1]Вольф В. Г., Литун П. П., Хавелова А. В., Кузьменко Р. И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. 75 с.

[2]Рокицкий П. Ф. Введение в статистическую генетику. Минск: «Вышэйная школа», 1978. 448 с.

Цель исследований – выявление перспективных для селекции форм яровой мягкой пшеницы на основе изучения общей и специфической комбинационной способности гибридов второго поколения по признакам устойчивости к септориозу листьев, крупности зерна и урожайности.

Новизна исследований – впервые изучены общая и специфическая комбинационные способности сортов и гибридов второго поколения яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев для дальнейшей селекционной работы по созданию высокопродуктивных и устойчивых к болезни сортов.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Материалом служили 28 гибридов F_2 и 8 родительских форм яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), высеянных в гибридном питомнике на делянках 1,0 м^2 в 2-кратной повторности. В 2021-2022 годах уровень влагообеспеченности в период «выход в трубку-молочная спелость», оцененный по величине гидротермических коэффициентов (1,89…2,13), косвенным образом свидетельствовал о благоприятных условиях для развития возбудителей септориоза яровой мягкой пшеницы.

Для подтверждения видовой идентификации образцы с поверхности листьев перед оценкой растений подвергали ПЦР-анализу в режиме реального времени с использованием коммерческой тест-системы «Септориоз злаков (*Stagonospora nodorum*)» («Агродиагностика», Россия). У всех образцов молекулярно-генетически установлена принадлежность к виду *P. nodorum* [18].

Тестирование гибридов и родительских форм пшеницы по возрастной устойчивости к септориозу проводили на естественном фоне в период наибольшего развития болезни (молочная спелость зерна), но до начала естественного отмирания листьев. Объем выборки для анализа – не менее 20 растений каждого сорта в 2-кратной повторности. Учёт септориза листьев проводили в динамике (пять раз за вегетацию) с момента появления признаков болезни и через равные промежутки времени для выявления сортов, характеризующихся устойчивостью и медленным нарастанием инфекции (*slow rusting*).

Для характеристики изучаемых сортов пшеницы по устойчивости к септориозу использовали методику и шкалу, описанную Т. М. Коломиец с соавт.[3]. Далее рассчитывали показатель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), который является основным критерием неспецифической устойчивости. Индекс устойчивости (ИУ) рассчитывали как соотношение ПКРБ у тестируемого сорта и наиболее восприимчивого. По значениям ИУ сорта были условно разделены на группы: высокоустойчивые (0,10-0,35); среднеустойчивые (0,36-0,65); слабоустойчивые (0,66-0,80); высоковосприимчивые (более 0,81). Для дальнейших исследований по значениям ИУ отбирали высокоустойчивые и среднеустойчивые сорта, обладающие также относительно низкими значениями показателя ПКРБ, что свидетельствует о замедленном развитии болезни [19].

Сорта и гибриды убирали в фазу полной спелости, учитывали массу 1000 семян и массу зерна с 1 м^2.

У гибридов F_2 рассчитывали показатель доминирования (S (ha)) по признакам (степень поражения септориозом, масса 1000 семян и урожайность) с использованием формулы F. Petr, K. Frey (приводится по В. И. Кривченко)[4].

Оценки общей и специфической комбинационной способности для неполных диаллельных скрещиваний проводили по методике В. Г. Вольфа с соавт.[5].

Для статистической обработки данных использовали методы дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову[6] с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. В естественных условиях развития *Parastagonospora nodorum* степень поражения септориозом у 28 изучаемых гибридов F_2 составила в среднем 16,8 %, изменяясь от 9,6 (гибрид Дарья × Эгисар 29) до 34,2 % (гибрид Степная 50 × Дарья).

[3]Коломиец Т. М., Пахолкова Е. В., Дубовая Л. П. Отбор исходного материала для создания сортов пшеницы с длительной устойчивостью к септориозу: методические рекомендации. М.: Печатный город, 2017. 56 с.
[4]Кривченко В. И. Идентификация генов устойчивости пшеницы к грибным заболеваниям: методические указания. Л., 1989. 34 с.
[5]Вольф В. Г., Литун П. П., Хавелова А. В., Кузьменко Р. И. Указ. соч.
[6]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

Высокоустойчивых и сильновосприимчивых к септориозу комбинаций скрещивания не обнаружено. Основная часть гибридов (60,7 %) отнесена к группе устойчивых (степень поражения до 16,0 %), 7 гибридов – умеренно восприимчивых (степень поражения с 17,0 до 25,0 %), 4 гибрида – к группе восприимчивых (степень поражения более 25,0 %). Для более полной иммунологической характеристики генотипа также важно знать скорость нарастания инфекции *Parastagonospora nodorum* на поверхности листа. Для этого, исходя из мониторинга развития септориоза, рассчитывали показатели ПКРБ и ИУ. В результате для дальнейших исследований выделены 14 устойчивых гибридов F_2, характеризующихся средними значениями индексов устойчивости и медленным нарастанием инфекции (табл. 1).

Таблица 1 **– Характеристика гибридов F_2 яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам /**
Table 1 – **Characteristics of F_2 hybrids of spring soft wheat by agronomic traits**

Гибрид / Hybrid	*Степень поражения септориозом листьев, % / Degree of leaf Septoria damage, %*	*ПКРБ / Area under the disease development curve*	*Индекс устойчивости / Stability Index*	*Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g*	*Масса зерна с 1 м², г / Grain weight per 1 m², g*
Росинка 2 × Нива 2 / Rosinka 2 × Niva 2	12,5	175	0,46	38,0	274,7
Росинка 2 × Терция / Rosinka 2 × Tertsiya	10,9	158	0,41	41,6	410,0
UL Alta Blanca × Терция / UL Alta Blanca × Tertsiya	15,9	218	0,57	36,8	397,9
UL Alta Blanca × Нива 2 / UL Alta Blanca × Niva 2	13,3	183	0,48	39,8	289,8
Дарья × Эгисар 29 / Daria × Egisar 29	9,6	136	0,35	40,4	298,0
Дарья × Росинка 2 / Daria × Rosinka 2	10,9	158	0,41	38,0	305,3
Дарья × UL Alta Blanca / Daria × UL Alta Blanca	10,9	148	0,38	35,2	255,1
Epos × Эгисар 29 / Epos × Egisar 29	10,9	148	0,38	37,2	297,0
Epos × UL Alta Blanca	12,5	175	0,46	35,2	243,9
Нива 2 × Эгисар 29 / Niva 2 × Egisar 29	15,0	193	0,50	42,4	265,5
Терция × Эгисар 29 / Tertsia × Egisar 29	14,2	201	0,52	39,0	288,3
Терция × UL Alta Blanca / Tertsia× UL Alta Blanca	11,7	166	0,43	38,8	286,4
Степная 50 × Epos / Stepnaya 50 × Epos	14,2	193	0,50	39,2	352,1
Степная 50 × Терция / Stepnaya 50 × Tertsia	13,3	193	0,50	41,0	353,9
Степная 50 × Дарья / Stepnaya 50 × Daria	34,2	386	1,0	42,6	411,1
Среднее / Average	16,8	198	0,52	39,2	304,7
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	2,06	-	-	1,95	87,9

Масса 1000 семян в среднем составила 39,2 г. Наиболее крупное зерно получено у гибридов Степная 50 × Дарья (42,6 г), Нива 2 × Эгисар 29 (42,4 г) и Росинка 2 × Терция (41,6 г).

Статистически значимое превышение массы зерна с 1 м^2 отмечено у гибридов UL Alta Blanca × Терция (397,9 г/м^2), Росинка 2 × Терция (410,0 г/м^2) и Степная 50 × Дарья (411,1 г/м^2).

Таким образом, по комплексу селекционно-иммунологических признаков выделен гибрид Росинка 2 × Терция, сочетающий устойчивость к септориозу с высокой массой 1000 семян и урожайностью.

Следует также выделить толерантный гибрид Степная 50 × Дарья, который при высокой степени поражения септориозом (34,2 %) сформировал крупное зерно (42,6 г) и максимальную (411,1 г/м^2) в опыте урожайность.

Для оценки взаимодействия генов и количественных признаков изучена комбинационная способность гибридов и родительских форм.

Результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных свидетельствуют о высокой значимости эффектов ОКС по всем признакам у родительских форм. Существенность отличий установлена относительно среднего значения ОКС, равного нулю (табл. 2). По признаку «степень поражения септориозом» выявлены существенно значимые более высокие значения ОКС у родительских форм Терция и Epos, низкое – у сорта Степная 50.

Таблица 2 – **Эффекты общей комбинационной способности (ОКС) родительских форм яровой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам /**
Table 2 – **Effects of the general combinational ability (**GCA**) of parent forms of spring soft wheat according to agronomic traits**

Сорт / Variety	*Степень поражения септориозом листьев / Degree of leaf Septoria damage*		*Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds*		*Масса зерна с 1 м^2 / Grain weight per 1 m^2*	
	%	*ОКС / GCA*	*г / g*	*ОКС / GCA*	*г / g*	*ОКС / GCA*
Эгисар 29 / Egisar 29	40,1	0,10	41,3	0,53	393,7	-2,49
Терция / Tertsia	14,0	0,19	38,4	0,20	449,2	3,64
Росинка 2 / Rosinka 2	38,0	-0,17	40,8	0,18	341,3	0,89
Дарья / Daria	18,0	-0,11	37,7	-0,80	472,8	2,93
UL Alta Blanca	30,7	-0,16	37,2	-0,30	397,1	-2,22
Epos	8,8	0,21	39,0	-0,90	460,7	-2,13
Нива 2 / Niva 2	14,5	0,15	41,6	0,52	466,8	0,92
Степная 50 / Stepnaya 50	39,3	-0,21	44,2	0,57	455,3	-1,54
Среднее / Average	20,44	0	40,0	0	429,6	0
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	10,6	0,18	3,47	0,06	-	2,92

По признаку «крупность зерна» родительские формы Эгисар 29, Нива 2, Терция, Росинка 2 и Степная 50 обладали высокой ОКС, сорта UL Alta Blanca, Epos и Дарья – низкой ОКС. По признаку «масса зерна с 1 м^2» высокая ОКС отмечена у сортов Дарья и Терция. По всем трем анализируемым признакам высокими значениями ОКС характеризовался сорт Терция.

Таким образом, сорта Терция и Epos наиболее эффективны как источники устойчивости к септориозу, Эгисар 29, Нива 2, Терция, Росинка 2 и Степная 50 – источники крупности зерна, Терция и Дарья – источники высокой урожайности.

Для оценки аллельного и неаллельного взаимодействия между генотипами родительских форм в конкретной комбинации скрещиваний определяли отклонения показателей от ожидаемых аддитивных эффектов родительских форм проверяемого гибрида – эффекты специфической комбинационной способности (СКС) (табл. 3).

По признаку «степень поражения септориозом» достоверно высокую по отношению к среднему значению СКС имели гибриды: Epos × UL Alta Blanca; Epos × Росинка 2; Росинка 2 × Epos; Дарья × UL Alta Blanca; Дарья × Росинка 2; Росинка 2 × Дарья.

Обоснование родительских форм, используемых для скрещиваний, основано не только на данных комбинационной способности, но и на наследуемости тех или иных признаков сорта. Анализируя показатель доминирования, у 28,6 % изучаемых гибридов обнаружено аддитивное действие генов по степени поражения септориозом при значениях S (ha) от -0,5 до +0,5. Депрессия признака (S (ha) < -1,0) наблюдалась у четвертой части гибридов. Гетерозис выявлен у 21,4 % гибридов при S (ha) > +1,0. В целом действие рецессивных генов выявлено у 14,3 %, а доминантных – у 10,7 % гибридных комбинаций.

Таблица 3 – **Эффекты специфической комбинационной способности (СКС) и наследование признаков у гибридов F_2 яровой мягкой пшеницы /**
Table 3 – **Effects of a specific combination ability (SCA) and inheritance of traits in F_2 hybrids of spring soft wheat**

Гибрид / Hybrid	*Степень поражения септориозом листьев / Degree of leaf Septoria damage*		*Масса 1000 семян / Weight of 1000 seeds*		*Масса зерна с 1 м² / Grain weight per 1 m²*	
	СКС / SCA	*S (ha)**	*СКС / SCA*	*S (ha)*	*СКС / SCA*	*S (ha)*
Эгисар 29 × Дарья / Egisar 29 × Daria	1,26	+0,03	2,06	-0,7	4,0	-0,4
Эгисар 29 × Epos / Egisar 29 × Epos	1,32	-0,18	2,10	+0,85	3,7	+24,0
Росинка 2 × Дарья / Rosinka 2 × Daria	1,53	-0,70	1,31	-0,33	5,6	-1,06
Росинка 2 × Epos / Rosinka 2 × Epos	1,59	-0,50	1,36	-0,05	5,3	+0,18
Дарья × Эгисар 29 / Daria × Egisar 29	1,26	+0,72	2,06	+1,46	4,0	-0,36
Дарья × Росинка 2 / Daria × Rosinka 2	1,53	+0,23	1,31	+0,33	5,6	+0,39
Дарья × UL Alta Blanca / Daria × UL Alta Blanca	1,57	-0,43	1,63	0	8,71	+0,03
Epos × Эгисар 29 / Epos × Egisar 29	1,32	+0,67	2,10	0	3,7	-0,15
Epos × Росинка 2 / Epos × Rosinka 2	1,60	-1,00	1,36	-0,05	5,3	+0,29
Epos × UL Alta Blanca	1,63	-1,00	1,67	+1,86	8,41	+0,02
Степная 50 × Дарья / Stepnaya 50 × Daria	1,22	-1,64	1,47	+1,0	7,65	+1,92
Среднее по опыту / Average by the experiment	1,16	0,03	1,26	1,83	2,73	2,0
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	0,24	-	0,60	-	4,92	-

* S (ha) – показатель доминирования признака / indicator of the dominance of the trait

По признаку «масса 1000 семян» достоверно высокую СКС по отношению к среднему значению имели гибриды Эгисар 29 × Epos, Epos × Эгисар 29, Эгисар 29 × Дарья, Дарья × Эгисар 29.

Показатель доминирования «масса 1000 семян» изменялся от -0,7 (гибрид Эгисар 29 × Дарья) до +17,0 (гибрид Росинка 2 × Терция). У большинства гибридов (46,4 %) выявлено аддитивное действие генов; у 42,9 % – гетерозис. Действие рецессивных и доминантных генов обнаружено у 7,1 и 3,6 % гибридных комбинаций соответственно.

По признаку «масса зерна с 1 м²» достоверно высокое значение СКС по отношению к среднему отмечено у гибридов: Дарья × UL Alta Blanca; Epos × UL Alta Blanca; Степная 50 × Дарья. Несущественное превышение СКС отмечено у гибридов: Росинка 2 × Дарья и Дарья × Росинка 2 (5,6); Росинка 2 × Epos и Epos × Росинка 2 (5,3); Эгисар 29 × Дарья и Дарья × Эгисар 29 (4,0); Epos × Эгисар 29 и Эгисар 29 × Epos (3,7).

Показатель доминирования признака варьировал от -1,28 (гибрид Нива 2 × Росинка 2) до +24,0 (гибрид Эгисар 29 × Epos). У 50,0 % гибридов проявился гетерозис по урожайности. Аддитивное действие генов отмечено у 39,3 % изученных гибридов. У двух гибридов (Росинка 2 × Дарья, Нива 2 × Росинка 2) наблюдали депрессию признака и у одного (Терция × UL Alta Blanca) – действие доминантных генов.

Заключение. В результате проведенных исследований для дальнейшего изучения отобрано 14 устойчивых гибридов F_2, характеризующихся средним индексом устойчивости и медленным нарастанием инфекции, вызванной *Parastagonospora nodorum.*

По комплексу селекционно-иммунологических признаков выделен гибрид Росинка 2 × Терция, сочетающий устойчивость к септориозу с высокой массой 1000 семян и урожайностью.

Особо отмечен толерантный гибрид Степная 50 × Дарья, который при высокой степени поражения септориозом листьев (34,2 %) сформировал крупное зерно (42,6 г) и максимальную (411,1 г/м^2) в опыте урожайность.

Проведённый дисперсионный анализ полученных данных показал, что сорт яровой пшеницы Терция обладает существенно более высокими значениями общей комбинационной способности по всем изученным признакам и может быть их источником в селекционных программах.

Кроме того, сорта Терция и Epos наиболее эффективны как источники устойчивости к септориозу; Эгисар 29, Нива 2, Терция, Степная 50 и Росинка 2 – источники крупности зерна; Терция и Дарья – источники высокой урожайности.

В результате анализа показателя доминирования у большинства изучаемых гибридных комбинаций обнаружено аддитивное действие генов на проявление устойчивости к поражению септориозом (28,6 %) и крупности зерна (46,4 %). Эффект гетерозиса по устойчивости к болезни отмечен у 21,4 %, по массе 1000 семян – у 42,9 % и по продуктивности – у 50,0 % изученных комбинаций.

Список литературы

1. Санин С. С., Корнева Л. Г., Поляков Т. М. Прогноз риска развития эпифитотий септориоза листьев и колоса пшеницы. Защита и карантин растений. 2015;(3):33-36.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=23077289 EDN: TLAAAJ

2. Бакулина А. В., Харина А. В., Широких А. А. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(2):26-35.
DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035 EDN: TELANX

3. Санин С. С., Назарова Л. Н. Стрижекозин Ю. А., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М., Копорова Т. И. Фитосанитарная обстановка на посевах пшеницы в Российской Федерации (1991-2008 гг.). Защита и карантин растений. 2010;(2):70-80.

4. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Скатенок О. О., Пахолкова Е. В. Создание генбанка источников устойчивости сортов пшеницы к септориозу. Защита и карантин растений. 2015;(7):44-46.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=23688479 EDN: TYJTHL

5. Харина А. В., Шешегова Т. К. Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodurum* и поиск источников признака для селекции. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):230-238. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238 EDN: JBCKUY

6. Казак А. А. Комбинационная способность сортов яровой пшеницы сибирской селекции в топкроссном скрещивании. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020;(4(63)):63-67.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=44434181 EDN: VIENJX

7. Косенко С. В., Кривобочек В. Г. Комбинационная способность и генетический контроль массы зерна с растения озимой мягкой пшеницы в диаллельных скрещиваниях. Аграрный научный журнал. 2017;(10):15-19. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30624378 EDN: ZUDZIX

8. Валекжанин В. С., Коробейников Н. И. Комбинационная способность сортов и линий мягкой яровой пшеницы в системе топкроссных скрещиваний по основным элементам продуктивности растений в условиях Приобской лесостепи Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022;(6(212)):5-11. DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-5-11 EDN: WVOVEB

9. Han Y.-y., Wang K.-y., Liu Z.-q., Pan S.-h., Zhao X.-y., Zhang Q., Wang S.-f. Research on hybrid crop breeding information management system based on combining ability analysis. Sustainability. 2020;12(12):4938. DOI: https://doi.org/10.3390/su12124938

10. Некрасова О. А., Некрасов Е. И. Изучение комбинационной способности озимой пшеницы (обзор). Зерновое хозяйство России. 2018;(2(56)):17-20. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=34875865 EDN: UOGAPY

11. Амунова О. С., Волкова Л. В. Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):253-262. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262 EDN: DQXNYR

12. Юсов В. С., Евдокимов М. Г., Шпигель А. Л. Комбинационная способность сортов и линий яровой твердой пшеницы по элементам продуктивности и качеству клейковины. Аграрный вестник Урала. 2022;(9(224)):59-70. DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-224-09-59-70 EDN: VTLSXF

13. Kumar A., Mishra V. K., Vyas R. P., Singh V. Heterosis and combining ability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Breeding and Crop Science. 2011;(3(10)):209-217.
URL: https://academicjournals.org/article/article1380005888_Kumar%20et%20al.pdf

14. Mwadzingeni L., Shimelis H., Tsilo T. J. Combining ability and gene action controlling yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought-stressed and nonstressed conditions. Journal of Plant Breeding. 2018;137(4):502-513. DOI: https://doi.org/10.1111/pbr.12609

15. Джаббаров И. Ш., Маджидова Т. Р. Комбинационная способность сортообразцов мягкой яровой пшеницы по признаку «длина стебля». Научное обозрение. Биологические науки. 2017;(4):16-20. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30336098 EDN: YMWCER

16. Косенко С. В. Комбинационная способность и генетический контроль продуктивной кустистости озимой мягкой пшеницы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;(8(154)):5-9. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29656347 EDN: YYZFJH

17. Глушаков Д. А., Юсов В. С., Евдокимов М. Г., Кирьякова М. Н. Комбинационная способность сортов твердой пшеницы в Западной Сибири в связи с устойчивостью к полеганию. Новости науки в АПК. 2019;(3(12)): 499-503. DOI: https://doi.org/10.25930/2218-855X/125.3.12.2019 EDN: RXQAYS

18. Бакулина А. В., Попыванов Д. В., Харина А. В. Изучение свойств местных изолятов фитопатогенного гриба *Parastagonospora nodorum.* Теоретическая и прикладная экология. 2022;(3):212-218. DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-212-218 EDN: PRYVWZ

19. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорта пшеницы (*Triticum* l.) из коллекции GRIN (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):561-569. DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus EDN: YZKVJZ

References

1. Sanin S. S., Korneva L. G., Polyakov T. M. Forecast of risk of development of epiphytoties of a septoria leaf blotch of leaves and ear of wheat. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(3):33-36. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23077289

2. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh A. A. Septoria tritici and Stagonospora nodorum blotch of wheat: genetic control of host resistance (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology**.** 2020;(2):26-35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-026-035

3. Sanin S. S., Nazarova L. N. Strizhekozin Yu. A., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M., Koporova T. I. Phytosanitary situation in wheat crops in the Russian Federation (1991-2008). *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(2):70-80. (In Russ.).

4. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Skatenok O. O., Pakholkova E. V. Creation of genebank of wheat resistance sources to septoria disease. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(7):44-46. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=23688479

5. Kharina A. V., Sheshegova T. K. Comparative analysis of methods of assessing spring soft wheat for resistance to *Parastagonospora nodorum* and search for sources of a trait for breeding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):230-238. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238

6. Kazak A. A. Combination ability of siberian breeding spring wheat varieties in topcross crossbreeding. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(4(63)):63-67. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44434181

7. Kosenko S. V., Krivobochek V. G. Combination ability and genetic control of grain mass from plants of winter soft wheatin dialular crops. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2017;(10):15-19. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30624378

8. Valekzhanin V. S., Korobeynikov N. I. Combining ability of soft spring wheat varieties and lines in top-crossing system for the main elements of plant productivity in the forest-steppe of the Altai region's Ob river area. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2022;(6(212)):5-11. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-5-11

9. Han Y.-y., Wang K.-y., Liu Z.-q., Pan S.-h., Zhao X.-y., Zhang Q., Wang S.-f. Research on hybrid crop breeding information management system based on combining ability analysis. Sustainability. 2020;12(12):4938. DOI: https://doi.org/10.3390/su12124938

10. Nekrasova O. A., Nekrasov E. I. The study of a combinative ability of winter wheat (review). *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(2(56)):17-20. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=34875865

11. Amunova O. S., Volkova L. V. Genetic and statistical analysis of the combiniting ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):253-262. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262

12. Yusov V. S., Evdokimov M. G., Shpigel A. L. Combining ability of varieties and lines of spring durum wheat for productivity elements and quality of gluten. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2022;(9(224)):59-70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-224-09-59-70

13. Kumar A., Mishra V. K., Vyas R. P., Singh V. Heterosis and combining ability analysis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Breeding and Crop Science. 2011;(3(10)):209-217.
URL: https://academicjournals.org/article/article1380005888_Kumar%20et%20al.pdf

14. Mwadzingeni L., Shimelis H., Tsilo T. J. Combining ability and gene action controlling yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought-stressed and nonstressed conditions. Journal of Plant Breeding. 2018;137(4):502-513. DOI: https://doi.org/10.1111/pbr.12609

15. Dzhabbarov I. Sh., Madzhidova T. R. Combinational capability sortoobraztsov of soft spring-sown field by sign to stalk length. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*. 2017;(4):16-20. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30336098

16. Kosenko S. V. Combining ability and genetic control of productive tilling capacity of winter bread wheat. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;(8(154)):5-9. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29656347

17. Glushakov D. A., Yusov V. S., Evdokimov M. G., Kiryakova M. N. Combining ability of grades wheat durum in Western Siberia due to the resistance to lodging. *Novosti nauki v APK*. 2019;(3(12)): 499-503. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25930/2218-855X/125.3.12.2019

18. Bakulina A. V., Popyvanov D. V., Kharina A. V. Study of the properties of local isolates of *Parastagonospora nodorum*. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(3):212-218. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-212-218

19. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. Wheat (*Triticum* L.) cultivars from grin collection (USA) selected for durable resistance to *septoria tritici* and *stagonospora nodorum* blotch. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):561-569. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus

Сведения об авторах

✉ **Харина Анастасия Владимировна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Кировская область, Российская Федерация, 610003,
e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0554-5814**, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Волкова Людмила Владиславовна, кандидат биол. наук, зав. лабораторией селекции яровой мягкой пшеницы научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Кировская область, Российская Федерация, 610003, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0837-8425**

Information about the authors

✉ **Anastasiya V. Kharina**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166-a, Kirov, Kirov region, Russian Federation, 610003, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0554-5814, e-mail: Khavchas@yandex.ru,

Lyudmila V. Volkova, PhD in Biology, Head of the Laboratory of Spring Soft Wheat Breeding, researcher at the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0837-8425

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.240-248
УДК 635.21:632.4

(cc) BY

Распространение ризоктониоза в посадках картофеля в условиях Северо-Запада РФ при неоднородном содержании элементов питания в почве

© 2023. В. В. Смук, А. М. Шпанев✉
*ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Ризоктониоз – одно из самых распространенных и вредоносных заболеваний картофеля на Северо-Западе России. Степень его проявления зависит от многих факторов, в том числе от содержания основных элементов питания в почве. В условиях Ленинградской области изучали влияние длительного внесения органических и минеральных удобрений на степень и характер проявления ризоктониоза на картофеле сорта Метеор в полевом и кормовом севооборотах. По результатам детализированного учета 2022 г., включающего осмотр всех растений картофеля (суммарное количество 43406), определено, что их поражение ризоктониозом имело характер случайного распределения в полевом севообороте и очагового – в кормовом. Такой вывод основан на соответствующих коэффициентах вариации (79 и 87 %) и агрегации (1,0 и 1,5). Пространственную неоднородность размещения растений, пораженных ризоктониозом, в посадках картофеля удалось визуализировать на цифровых картах, составленных с помощью программ ГИС АФИ и Surfer 11, при проведении группировки данных на элементарные участки. Обозначилось влияние разной степени окультуренности и удобренности на распространение ризоктониоза. Влияние окультуренности было неоднозначным и статически достоверным только в кормовом севообороте, где наблюдалось увеличение пораженности растений картофеля ризоктониозом (в 1,7-2,5 раза по сравнению с низкоокультуренной почвой). Под действием минеральных удобрений происходило снижение пораженности растений картофеля ризоктониозом как в полевом севообороте (в 1,1-1,7 раза по сравнению с вариантом без удобрений), так и кормовом (в 1,1-1,3 раза). Комплексное влияние окультуренности почвы и удобренности посадок картофеля привело к снижению пораженности клубней ризоктониозом в 1,9 и 2,0 раза соответственно в полевом и кормовом севооборотах.

Ключевые слова: *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn*, геостатический анализ, пространственное размещение, окультуренность почвы, минеральные удобрения, Северо-Запад РФ*

***Благодарности*:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (тема № FGEG-2022-0007).

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

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

Для цитирования: Смук В. В., Шпанев А. М. Распространение ризоктониоза в посадках картофеля в условиях Северо-Запада РФ при неоднородном содержании элементов питания в почве. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):240-248. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.240-248

Поступила: 27.01.2023 Принята к публикации: 23.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

The spread of rhizoctoniosis in potato plantings in the conditions of the North-West of the Russian Federation with a heterogeneous content of nutrients in the soil

© 2023. Vasiliy V. Smuk, Alexander M. Shpanev ✉
Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

Rhizoctoniosis is one of the most common and harmful diseases of potatoes in the North-West of Russia. The degree of its manifestation depends on many factors, including the content of basic nutrients in the soil. In the Leningrad region the effect of prolonged application of organic and mineral fertilizers on the degree and nature of the manifestation of rhizoctoniosis was studied in potato variety Meteor in forage and field crop rotations. By the results of the detailed accounting carried out in 2022 including observation of all potato plantings (43406 in total) it was determined that rhizoctoniosis damage had random distribution character in field crop rotation and focal distribution in forage crop rotation. This conclusion was confirmed by respective coefficients of variation (79 and 87 %) and aggregation (1.0 and 1.5). Spatial heterogeneity of plants damaged by rhizoctoniosis was visualized on digital maps compiled with GIS AFI and Surfer 11 while grouping the data into elementary sections. There was sufficient influence of cultivation and fertilization of different levels on rhizoctoniosis spread. The influence of cultivation was weak and statistically significant only in forage crop rotation, where there was an increase of rhizoctoniosis damage of potato plants (by 1.7-2.5 times compared to low cultivated soil). Under mineral fertilizers application there was a decrease of rhizoctoniosis damage of potato plants both in field crop rotation (by 1.1-1.7 times compared to variant without fertilizers application), and in forage crop rotation (by 1.1-1.3 times). Complex influence of soil cultivation and fertilization of potato plantings caused a decrease of rhizoctoniosis damage of potato tubers by 1.9 and 2.0 times in field and forage crop rotations, respectively.

Keywords: *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn*, geostatic analysis, spatial placement, soil cultivation, mineral fertilizers, North-West of the Russian Federation*

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 Agrophysical Research Institute (theme No. FGEG-2022-0007).

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

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

For citation: Smuk V. V., Shpanev A. M. The spread of rhizoctoniosis in potato plantings in the conditions of the North-West of the Russian Federation with a heterogeneous content of nutrients in the soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):240-248. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.240-248

Received: 10.01.2023 Accepted for publication: 23.03.2023 Published online: 25.04.2023

Северо-Запад России, несмотря на отрицательные тенденции последних лет, по-прежнему, занимает ведущее место по площадям и валовому сбору картофеля в нашей стране. Биологические особенности культуры и агроклиматические условия региона определяют всё то множество фитосанитарных проблем, с которыми постоянно вынуждены сталкиваться сельхозпроизводители. К числу наиболее распространенных и вредоносных заболеваний картофеля в Северо-Западном регионе относится ризоктониоз, который оказывает влияние как на количественную, так и качественную составляющую урожая [1, 2]. Основными причинами такой ситуации является дефицит минерального питания, характерный для дерново-подзолистых почв данного региона, нарушения севооборотов, ненадлежащее фитосанитарное состояние посадочного материала [3, 4]. При этом известно о высокой эффективности обработки посадочных клубней фунгицидами в защите картофеля от этого заболевания [5, 6, 7].

Пространственная неоднородность фитосанитарного состояния – важная особенность агроценозов и объективная реальность, с которой следует считаться при проведении мониторинговых и защитных мероприятий в рамках разработки прецизионных подходов в защите растений [8, 9]. Так, нашими более ранними исследованиями было показано, что малолетние виды сорных растений склонны к более равномерному размещению на полях, а многолетние – к куртинному произрастанию, что объясняется особенностями их размножения [10]. Неравномерность пространственного размещения личинок жуков-щелкунов являлась следствием разного содержания элементов питания, обусловленного длительным применением минеральных удобрений в зернотравяно-пропашном севообороте [11]. При этом пространственное распространение ризоктониоза внутри посадок картофеля, по-прежнему, не охарактеризовано, несмотря на очевидную необходимость и практическую значимость.

Цель исследований – изучение особенностей пространственного распространения ризоктониоза в посадках картофеля и влияния на него гетерогенности почвенных условий по содержанию основных элементов питания на Северо-Западе России.

Новизна исследований – выявлены геостатические особенности распространения ризоктониоза в посадках картофеля полевого и кормового севооборотов на Северо-Западе РФ, обусловленные неоднородным содержанием основных элементов питания. Составлены цифровые карты пространственного размещения растений картофеля, пораженных ризоктониозом. Определено частное и комплексное влияние окультуренности и удобренности полей на поражение растений и клубней картофеля ризоктониозом.

Материал и методы. Изучение пространственного распространения ризоктониоза в посадках картофеля проводили в 2022 году в длительном стационарном опыте с разным уровнем окультуренности дерново-подзолистой супесчаной почвы Меньковского филиала Агрофизического НИИ. Стационар функционирует с 2006 г. и состоит из полевого и кормового севооборотов, развёрнутых во времени на двух смежных полях площадью 1 га каждое. Размер делянки – 320 м^2 (8 × 40 м), размещение систематическое, повторность трехкратная. Схема полевого севооборота: ячмень с подсевом многолетних трав (тимофеевка луговая + клевер красный), многолетние травы 1-2 года пользования, рожь озимая, картофель, однолетние зернобобовые; кормового: картофель, пшеница озимая, люпин узколистный, свёкла столовая, капуста белокочанная, ячмень яровой.

Назначение стационара связано с определением влияния органоминеральной системы удобрения на урожайность и качество продукции возделываемых культур в зависимости от уровня окультуренности почв и типа севооборота. Схема опыта включала три уровня окультуренности (низкий, средний, высокий) и три дозы минеральных удобрений, зависящие от

культуры. Уровни окультуренности создавались внесением высоких (160 т/га за 2003-2005 гг.) и очень высоких (480 т/га) доз органических удобрений в виде навоза крупного рогатого скота, в настоящее время поддерживаются внесением птичьего помета однократно за ротацию: в полевом севообороте – под картофель, в кормовом – под капусту белокочанную. Дозы органики в среднеокультуренном варианте составили 80 т/га, высокоокультуренном – 160 т/га. Под влиянием удобрений агрохимические свойства почвы претерпели значительные изменения на начало третьей ротации севооборота (табл. 1).

Таблица 1 – **Основные показатели агрохимических свойств почвы разной степени окультуренности (2018 г.) /**
Table 1 – **The main indicators of agrochemical properties of soil of different degrees of cultivation (2018)**

Севооборот / Crop rotation	*Окультуренность почвы / Cultivation of the soil*	*pH_{KCl}*	*Органическое вещество, % / Organic matter, %*	*Содержание подвижных соединений, мг/кг / Content of mobile compounds, mg/kg*	
				P_2O_5	*K_2O*
Полевой / Field	Низкая / Low	5,3	2,49	183	59
	Средняя / Average	5,9	3,48	359	189
	Высокая / High	6,3	4,38	407	277
Кормовой / Forage	Низкая / Low	5,2	2,34	178	97
	Средняя / Average	5,8	3,64	408	206
	Высокая / High	6,1	4,15	428	367

В качестве минеральных удобрений в опыте использовались сухие смеси из комплексных (азофоска, аммофоска) и простых (аммиачная селитра, карбамид, хлористый калий) минеральных удобрений. В 2022 году на обоих полях стационара возделывали картофель сорта Метеор, согласно литературным данным [12], обладающего высокой устойчивостью к ризоктониозу, дозы минеральных удобрений соответствовали $N_0P_0K_0$, $N_{80}P_{20}K_{100}$, $N_{120}P_{30}K_{150}$, органические удобрения под картофель не вносили.

Изучение заключалось в проведении детализированных учетов пораженности растений картофеля ризоктониозом в период роста клубней (30 июля – 4 августа), когда внешние признаки проявления данного заболевания хорошо заметны. В опыте учету подлежали все растения картофеля, которых в полевом севообороте насчитывалось 22119 шт., в кормовом – 21287 шт. Определяли долю пораженных растений ризоктониозом, а также коэффициенты вариации[1] и агрегации[2].

При анализе клубневого урожая, собранного с 10 растений каждого варианта опыта в 3-кратной повторности, определяли такие показатели, как пораженность клубней ризоктониозом (доля пораженных клубней) и интенсивность поражения по 9-балльной шкале с нечетным обозначением баллов[3].

Цифровые карты пространственного распространения растений картофеля, пораженных ризоктониозом, составляли с помощью программ Surfer 11 и ГИС АФИ, разработанной в лаборатории информационного обеспечения точного земледелия Агрофизического НИИ.

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа в программе Statistica 6.

Результаты и их обсуждение. По данным наших многолетних исследований [13], ризоктониоз является самым стабильным заболеванием картофеля на полях Меньковского филиала АФИ. Пораженность растений картофеля ризоктониозом варьировала от 1 % в годы с засушливыми условиями в период появления всходов и начального развития культуры до 3-6 % при прохладных и дождливых погодных условиях. Доля пораженных клубней в урожае была значительной – 19 %, а в годы с избыточным увлажнением достигала 70 %. Интенсивность поражения клубней ризоктониозом изменялась в пределах 8,5-16,2 %.

[1]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1979. 416 с.
[2]Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 359 с.
[3]Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб., 2009. 378с.

По данным детализированных обследований посадок картофеля, в 2022 г. была выявлена слабая пораженность растений ризоктониозом – в среднем 1,5 и 2,1 % соответственно в полевом и кормовом севооборотах с максимальным поражением в рядах 6,5 и 11,6 %. Такая ситуация обусловлена зараженностью ризоктониозом посадочного материала картофеля на уровне 28 % (доля пораженных клубней) с интенсивностью поражения 10 % (доля пораженной поверхности клубней). При этом проявилась выраженная неравномерность в размещении пораженных растений в пространстве исследуемых полей, подтверждаемая высокими коэффициентами вариации (79 и 87 %). Полученные коэффициенты агрегации свидетельствуют о том, что распространение ризокто-ниоза в посадках картофеля полевого севооборота имело случайный характер, кормового севооборота – очаговый (табл. 2).

Таблица 2 – **Характеристика пространственного размещения растений картофеля сорта Метеор, пораженных ризоктониозом, в полевом и кормовом севооборотах /**
Table 2 – **Characteristics of spatial placement of potato plants of the Meteor variety affected by rhizoctoniosis in the fields of field and forage crop rotations**

Севооборот / Crop rotation	*Доля пораженных растений, % / Proportion of affected plants, %*			*Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %*	*Коэффициент агрегации / Aggregation coefficient*
	среднее / average	*min*	*max*		
Полевой / Field	1,5	0,0	6,5	79	1,0
Кормовой / Forage	2,1	0,0	11,6	87	1,5

Геостатические особенности распространения ризоктониоза в посадках картофеля полевого и кормового севооборотов четко просматриваются на цифровых картах, составленных с помощью программ ГИС АФИ и Surfer 11 (рис.). Для визуального представления нами была проведена группировка данных по элементарным участкам, состоящим из 8 рядов по 8 растений в каждом, что соответствует ширине варианта с разной степенью удобренности. В каждом поле (севообороте) были выделены 324 элементарных участка с определенной характеристикой пораженности растений картофеля ризоктониозом. В очагах поражения картофеля ризоктониозом доля пораженных растений чаще всего варьировала в пределах 1,6-4,7 %, а в отдельных случаях достигала 7,8 % в полевом севообороте и 8,9 % – в кормовом. По всей видимости, ввиду слабого заражения посадочного материала, характерная особенность в распространении ризоктониоза на посадках картофеля оказалась обусловлена инфекционным запасом, имеющимся в пахотном горизонте почвы. По мнению некоторых исследователей, именно почва является одним из основных источников сохранения и передачи данного заболевания в природе [14, 15].

Известно, что вносимые удобрения, помимо очевидного положительного влияния на физические, агрохимические свойства почвы и формирование урожая, оказывают значительное воздействие на состав, численность и активность почвенной биоты, в том числе *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn [16]. Исходя из этого, в качестве факторов, влияющих на распространение ризоктониоза в посадках картофеля, нами рассматривались уровни окультуренности и удобренности, создаваемые путем внесения органических и минеральных удобрений в соответствии со схемой опыта. Влияние окультуренности на поражение растений картофеля ризоктониозом получило статистическое подтверждение только в кормовом севообороте. По мере улучшения окультуренности почвы происходило увеличение пораженности растений ризоктониозом с максимальными показателями на фоне высокого содержания органического вещества и основных элементов минерального питания (табл. 3). Возможно, это связано с изменением условий увлажнения, которые сильно зависели от габитуса растений. Вегетативная масса растений картофеля на средне- и высокоокультуренной почве была выше на 35,8 и 45,1 % соответственно. При этом известно, что повышенная влажность окружающей среды и почвы усиливает развитие ризоктониоза [17, 18]. В то же время имеются сведения, что органические удобрения снижают восприимчивость растений к ризоктониозу за счет их быстрого роста и хорошего развития. Кроме того, в почву вносится большое количество микроорганизмов, многие из которых являются антагонистами *Rh. solani*. Как следствие, наблюдается снижение развития заболевания на ростках и клубнях картофеля [19].

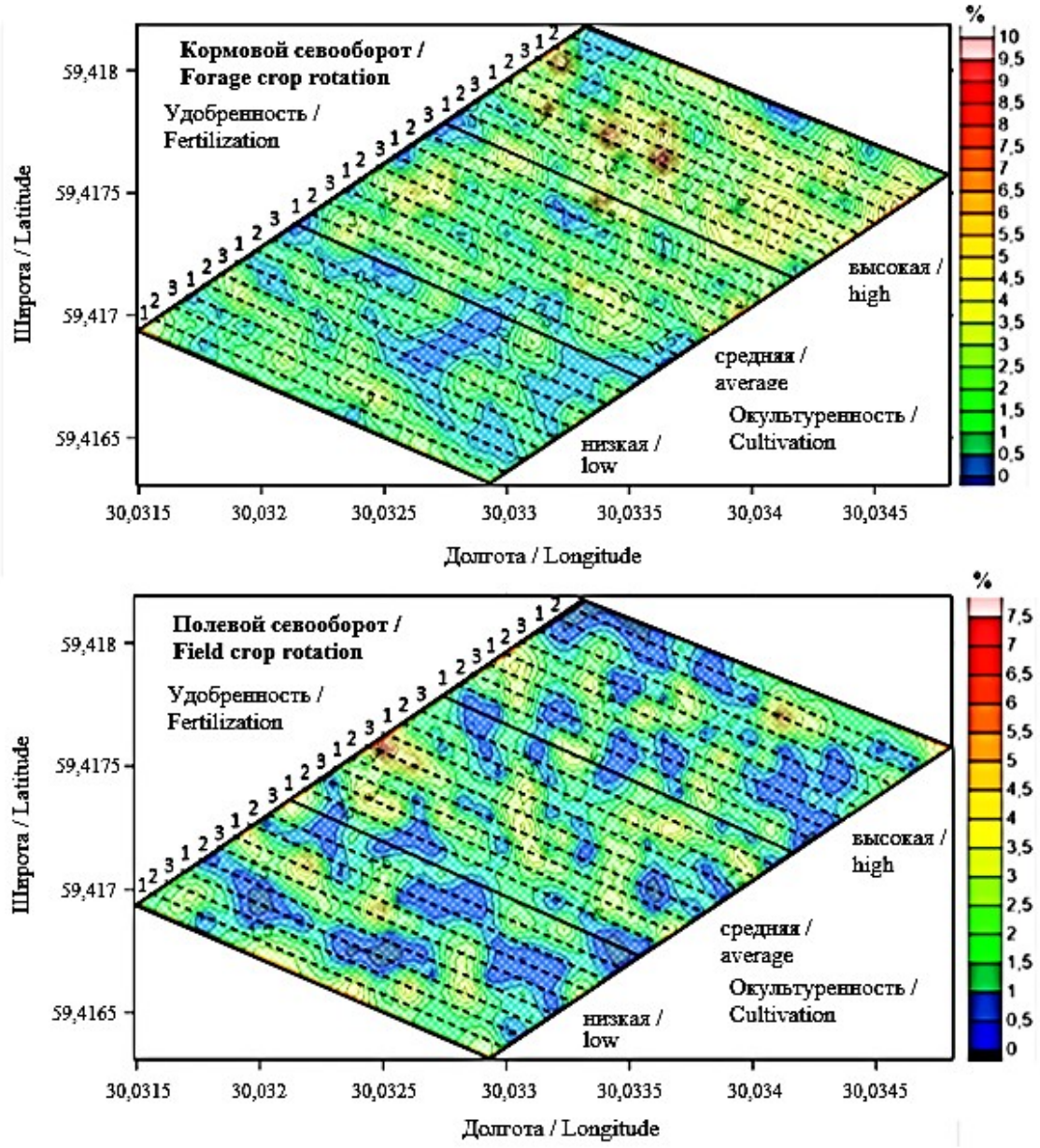


Рис. **Цифровые карты распространения ризоктониоза в посадках картофеля сорта Метеор полевого и кормового севооборотов: 1 – $N_0P_0K_0$; 2 – $N_{80}P_{20}K_{100}$; 3 – $N_{120}P_{30}K_{150}$ /**

Fig. **Digital maps of rhizoctoniosis spread in potato plantings of the Meteor variety of field and forage crop rotations: 1 – $N_0P_0K_0$; 2 – $N_{80}P_{20}K_{100}$; 3 – $N_{120}P_{30}K_{150}$**

Таблица 3 – **Пораженность ризоктониозом растений картофеля сорта Метеор в разных вариантах окультуренности почвы и удобренности посадок, %/**
Table 3 – **The incidence of rhizoctoniosis of potato plants of the Meteor variety with different variants of soil cultivation and fertilization of plantings, %**

Севооборот / Crop rotation	*Окультуренность / Cultivation*			*Удобренность / Fertilization*		
	низкая / low	*средняя / average*	*высокая / high*	$N_0P_0K_0$	$N_{80}P_{20}K_{100}$	$N_{120}P_{30}K_{150}$
Полевой / Field	1,3	1,9	1,4	1,9	1,7	1,1**
Кормовой / Forage	1,2	2,0	3,0**	2,3	2,1	1,8*

* различия достоверны при $P \geq 0,95$, ** при $P \geq 0,99$ / *differences are significant at $P \geq 0.95$, ** $P \geq 0.99$

Внесение минеральных удобрений, наоборот, приводило к снижению пораженности растений картофеля ризоктониозом в 1,1-1,7 и 1,1-1,3 раза (относительно варианта $N_0P_0K_0$) соответственно в полевом и кормовом севооборотах. Отмеченное положительное действие минеральных удобрений связано с повышением темпа начального роста растений и общей устойчивости к фитопатогену [20, 21, 22].

Отмеченное положительное действие удобрений в отношении пораженности растений ризоктониозом просматривалось во всех вариантах окультуренности полевого севооборота, а также при низкой и высокой окультуренности почвы кормового севооборота. Снижение пораженности растений картофеля ризоктониозом на низком фоне окультуренности, в зависимости от дозы минеральных удобрений, составило 1,5-1,8 и 1,3-1,9 раза, на среднем – 1,3-2,3 раза, на высоком – 1,4-1,9 и 1,2-1,9 раза соответственно в полевом и кормовом севооборотах (табл. 4).

Таблица 4 – **Комплексное влияние окультуренности почвы и удобренности посадок на пораженность растений картофеля сорта Метеор ризоктониозом /**
Table 4 – **The complex effect of soil cultivation and fertilization of plantings on the rhizoctoniosis infestation of potato plants of the Meteor variety**

Вариант опыта / Variant of the experiment		*Пораженность растений, % / Plant infestation, %*	
окультуренность (А) / cultivation (A)	*удобренность (В) / fertilization (B)*	*полевой севооборот / field crop rotation*	*кормовой севооборот / forage crop rotation*
Низкая / Low	$N_0P_0K_0$	1,8	1,5
	$N_{80}P_{20}K_{100}$	1,2	1,2
	$N_{120}P_{30}K_{150}$	1,0	0,8
Средняя / Average	$N_0P_0K_0$	2,5	1,8
	$N_{80}P_{20}K_{100}$	2,0	1,8
	$N_{120}P_{30}K_{150}$	1,1	2,5
Высокая / High	$N_0P_0K_0$	1,9	3,7
	$N_{80}P_{20}K_{100}$	1,4	3,1
	$N_{120}P_{30}K_{150}$	1,0	2,0
$НСР_{05}$ A / LSD_{05} A		0,23	0,45
$НСР_{05}$ B / LSD_{05} B		0,27	0,42
$НСР_{05}$ (AxB) / LSD_{05} (AxB)		0,58	1,00

Данные анализа урожая продемонстрировали довольно значительную пораженность клубней картофеля ризоктониозом – 19,3 и 31,8 %, интенсивность поражения – 10,1 и 13,7 % в полевом и кормовом севооборотах соответственно. Положительное влияние минеральных удобрений в уменьшении пораженности клубней ризоктониозом на достоверном уровне обозначилось в варианте с низкой окультуренностью почвы (табл. 5). Так, внесение средних доз удобрений приводило к снижению пораженности клубней данным заболеванием на обоих полях картофеля в 1,3 раза, высоких доз – в 1,9 (полевой севооборот) и 6,0 раз (кормовой севооборот). В вариантах со средней и высокой окультуренностью ситуация не была такой однозначной, поскольку на проявление клубневой формы ризоктониоза сказывалось влияние окультуренности. Например, в полевом севообороте по мере повышения окультуренности почвы отмечалось снижение пораженности клубней с 24,0 до 18,4 и 15,4 %. В кормовом севообороте наименьшая доля пораженных клубней и интенсивность их заболевания ризоктониозом на всех уровнях окультуренности фиксировалась в варианте с внесением наибольшей дозы минеральных удобрений.

Комплексное влияние изучаемых агрохимических факторов на пораженность клубней картофеля ризоктониозом выражается снижением данного показателя в 1,9 и 2,0 раза, фактически на 15 % в полевом и 16,8 % – кормовом севооборотах.

Таблица 5 – **Комплексное влияние окультуренности почвы и удобренности посадок на пораженность клубней картофеля сорта Метеор ризоктониозом, % /**
Table 5 – **The complex effect of soil cultivation and fertilization of plantings on the rhizoctoniosis infestation of potato tubers of the Meteor variety, %**

Вариант опыта / Variant of the experiment		*Полевой севооборот / Field crop rotation*		*Кормовой севооборот / Forage crop rotation*	
окультуренность (А) / cultivation (A)	*удобренность (В) / fertilization (B)*	*поражено клубней / tuber infestation*	*степень поражения / degree of infestation*	*поражено клубней / tuber infestation*	*степень поражения / degree of infestation*
Низкая / Low	$N_0P_0K_0$	31,5	8,8	33,0	15,5
	$N_{80}P_{20}K_{100}$	23,9	9,1	25,8	15,9
	$N_{120}P_{30}K_{150}$	16,4	6,0	5,5	5,0
Средняя / Average	$N_0P_0K_0$	29,3	10,3	49,7	19,3
	$N_{80}P_{20}K_{100}$	11,5	8,2	54,8	15,5
	$N_{120}P_{30}K_{150}$	14,5	9,0	31,8	12,0
Высокая / High	$N_0P_0K_0$	17,7	10,4	29,9	17,5
	$N_{80}P_{20}K_{100}$	12,1	13,5	39,5	12,5
	$N_{120}P_{30}K_{150}$	16,5	14,2	16,2	8,1
$НСР_{05}$ A / $НСР_{05}$ A		6,80	1,13	12,64	1,79
$НСР_{05}$ B / $НСР_{05}$ B		9,93	3,54	14,49	3,04
$НСР_{05}$ (AxB) / $НСР_{05}$ (AxB)		20,76	4,05	30,32	6,35

Выводы. 1. По результатам детализированного учета выявлена пространственная неравномерность в поражении растений картофеля ризоктониозом, которая имела характер случайного распределения в полевом севообороте и очагового – в кормовом. При этом обозначилось влияние гетерогенности почвенных условий по содержанию основных элементов питания, обусловленной разной степенью окультуренности почвы и удобренности посадок картофеля. Влияние окультуренности было неоднозначным и статически достоверным только в кормовом севообороте, где наблюдали увеличение пораженности растений картофеля ризоктониозом (в 1,7-2,5 раза). Под действием минеральных удобрений происходило снижение пораженности растений картофеля ризоктониозом как в полевом (в 1,1-1,7 раза), так и кормовом (в 1,1-1,3 раза) севооборотах.

2. Определено комплексное влияние окультуренности почвы и удобренности посадок картофеля на снижение пораженности клубней ризоктониозом в 1,9 и 2,0 раза соответственно в полевом и кормовом севооборотах.

3. Пространственную неоднородность размещения растений, пораженных ризоктониозом, в посадках картофеля, , удается визуализировать на цифровых картах, составленных с помощью программ ГИС АФИ и Surfer 11, при проведении группировки данных по элементарным участкам.

Список литературы

1. Хютти А. В., Лазарев А. М. Ризоктониоз картофеля: встречаем во всеоружии. Сельскохозяйственные вести. 2019;1(116):10-11.

2. Хютти А. В., Кузнецов А. А. Влияние протравителей на комплекс возбудителей болезней картофеля и товарные качества семенного материала. Защита картофеля. 2020;(1):33-34.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42898202 EDN: YTBHGK

3. Долженко О. В., Кривченко О. А., Киндрат М. В. Кинг комби для защиты картофеля. Защита и карантин растений. 2017;(9):24-25. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29871883 EDN: ZDRVTT

4. Лысов А. К., Хютти А. В., Корнилов Т. В. Интегрированная защита при выращивании семенного картофеля. Защита и карантин растений. 2020;(9):32-37. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=43909505 EDN: LZVVII

5. Мельникова Е. С. Использование фунгицидных протравителей на картофеле в условиях Центрального Черноземья. Защита картофеля. 2020;(1):9-10. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42898190 EDN: MFWRPX

6. Пилипова Ю. В., Шалдяева Е. М., Решетникова О. В., Горобей И. М. Эффективность протравителей инсектофунгицидов в подавлении ризоктониоза картофеля в Новосибирской области. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021;4(61):53-61.
DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-53-61 EDN: NBEZVO

7. Гайнатулина В. В., Хасбиуллина О. И. Влияние химических и биологических препаратов на урожайность, заболеваемость растений и клубней картофеля ризоктониозом. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022;(6):51-54. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=kcegdc EDN: KCEGDC

8. Гурьянов А. М., Артемьев А. А. Оценка засоренности агроценозов и эффективность дифференцированного применения гербицидов в севообороте. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(5(66)):83-89. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.83-89 EDN: PJNYIF

9. Гогмачадзе Г. Д., Матюк Н. С., Полин В. Д., Биналиев И. Ф. Структура сорного компонента и его пространственное распределение в полях зернопропашного севооборота. АгроЭкоИнфо. 2021;(1(43)):4. DOI: https://doi.org/10.51419/20211112 EDN: DKLNIL

10. Шпанев А. М., Смук В. В., Петрушин А. Ф. Влияние микрорельефа поля на пространственное размещение сорных растений. Агрофизика. 2020;(4):20-26. DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.04.04 EDN: RGMMYD

11. Шпанев А. М., Смук В. В. Пространственное размещение личинок жуков-щелкунов при длительном применении минеральных удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимический вестник. 2021;(3):66-70. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=46367734 EDN: IJVAUL

12. Белов Г. Л., Зейрук В. Н., Васильева С. В., Деревягина М. К., Шабанов А. Э., Киселев А. И. Распространенность ризоктониоза на различных сортах картофеля в Центральном регионе России. Агрохимический вестник. 2019;(3):65-67. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38173119 EDN: ZSHCXB

13. Шпанев А. М., Смук В. В., Фесенко М. А. Фитосанитарный эффект применения минеральных удобрений на посадках картофеля в Северо-Западном регионе. Агрохимия. 2017;(12):38-45. DOI: https://doi.org/10.7868/S0002188117120067 EDN: ZUCFUR

14. Кузнецова М. А., Ерохова М. Д. Ризоктониоз – опаснейшее заболевание картофеля. Защита и карантин растений. 2021;(4):31-34. DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2021_4_31 EDN: CVNSAU

15. Шалдяева Е. М., Пилипова Ю. В. Вредные организмы агроэкосистем картофеля лесостепи Западной Сибири и их эволюционно-экологические адаптации. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017;(1(254)):64-73. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=29035876 EDN: YLKEUP

16. Малюга А. А., Якименко В. Н. Влияние калийных удобрений на поражаемость картофеля ризоктониозом в Западной Сибири. Вестник защиты растений. 2013;(3):45-50. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kaliynyh-udobreniy-na-porazhaemost-kartofelya-rizoktoniozom-v-zapadnoy-sibiri

17. Замалиева Ф. Ф., Жарёхина Т. В., Сафиуллина Г. Ф. Влияние биологически активных препаратов, удобрительных составов, орошения на распространение болезней клубней картофеля. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019;(3(54)):25-30. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db851f1e7ef85.29058201 EDN: DYHLYJ

18. Черемисин А. И., Якимова И. А., Елина А. М. Влияние погодных условий на устойчивость сортов картофеля к грибным болезням в питомниках семеноводства. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020;(12(194)):10-17. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44394255 EDN: COXXMF

19. Иванюк В. Г., Александров О. Т. Эффективность агротехнических мероприятий против ризоктониоза картофеля. Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі. 1996;(2):55-60. Режим доступа: http://vesti.belal.by/vesti/pdf/19960215.pdf

20. Малюга А. А., Чуликова Н. С., Енина Н. Н. Влияние минеральных удобрений и протравителей на развитие ризоктониоза картофеля и урожайность культуры. Защита и карантин растений. 2018;(9):9-11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35605124 EDN: XZIGKT

21. Халипский А. Н., Чураков А. А., Ступницкий Д. Н., Хижняк С. В., Абдураимов П. О. Влияние фона питания и рельефа местности на урожайность и распространение болезней картофеля. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(8):31-34. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=30053594 EDN: ZHRFUP

22. Васильев А. А. Влияние сбалансированного питания, протравливания и сроков посадки картофеля на урожайность и качество клубней. Земледелие. 2021;(2):22-26. DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10205 EDN: PJNBGP

References

1. Khyutti A. V., Lazarev A. M. Potato rhizoctoniosis: we are fully prepared. *Sel'skokhozyaystvennye vesti*. 2019;1(116):10-11. (In Russ.).

2. Khyutti A. V., Kuznetsov A. A. The influence of dressing agents on the complex of pathogens of potato diseases and the commercial qualities of seed material. *Zashchita kartofelya*. 2020;(1):33-34. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42898202

3. Dolzhenko O. V., Krivchenko O. A., Kindrat M. V. King kombi for potato protection. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2017;(9):24-25. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29871883

4. Lysov A. K., Khyutti A. V., Kornilov T. V. Integrated protection when growing seed potatoes. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2020;(9):32-37. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=43909505

5. Melnikova E. S. The use of fungicidal disinfectants on potatoes in the conditions of the Central Chernozem region. *Zashchita kartofelya*. 2020;(1):9-10. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42898190

6. Pilipova I. V., Shaldyaeva E. M., Reshethikova O. V., Gorobey I. M. Efficiency of insectofungicide dressing agents in suppressing potato rhizoctoniosis in the Novosibirsk region. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2021;(4):53-61. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-61-4-53-61

7. Gaynatulina V. V., Khasbiullina O. I. Influence of chemical and biological preparations on productivity, incidence of plants and tubers of potatoes with rhizoctonoise. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2022;(6):51-54. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=kcegdc

8. Guryanov A. M., Artemjev A. A. Estimation of agrocoenosis for weediness and efficiency of differentiated use of herbicides in crop rotation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;66(5):83-89. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.83-89

9. Gogmachadze G. D., Matyuk N. S., Polin V. D., Binaliev I. F. The structure of the weed component and its spatial distribution in the fields of grain-row crop rotation. *AgroEkoInfo* = AgroEcoInfo. 2021;(1(43)):4. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.51419/20211112

10. Shpanev A. M., Smuk V. V., Petrushin A. F. Influence of field microrelief on spatial distribution of weeds. *Agrofizika* = Agrophysica. 2020;(4):20-26. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.04.04

11. Shpanev A. M., Smuk V. V. Spatial distribution of click beetle larves during long-term application of mineral fertilizers at soddy-podzolic sandy soil. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2021;(3):66-70. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46367734

12. Belov G. L., Zeyruk V. N., Vasileva S. V., Derevyagina M. K., Shabanov A. E., Kiselev A. I. The incidence of rhizoctoniosis on different potato varieties in the Central region of Russia. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(3):65-67. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38173119

13. Shpanev A. M., Smuk V. V., Fesenko M. A. Phytosanitary effect of mineral fertilizers on the potato plantations in the North-West region. *Agrokhimiya*. 2017;(12):38-45. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0002188117120067

14. Kuznetsova M. A., Erokhova M. D. Rhizoctonia solani - a dangerous disease of potatoes. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2021;(4):31-34. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47528/1026-8634_2021_4_31

15. Shaldyaeva E. M., Pilipova Yu. V. Potato pests in agro-ecosystems of the West Siberian forest steppe and their evolutionary ecological adaptation. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science**.** 2017;(1(254)):64-73. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29035876

16. Malyuga A. A., Yakimenko V. N. The influence of potassium fertilizers on the pathogenesis of black scab of potatoes in Western Siberia. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News**.** 2013;(3):45-50. (In Russ.). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kaliynyh-udobreniy-na-porazhaemost-kartofelya-rizoktoniozom-v-zapadnoy-sibiri

17. Zamalieva F. F., Zharekhina T. V., Safiullina G. F. Influence of biologically active preparations, fertilizer compositions, irrigation on the distribution of potato tuber diseases. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;(3(54)):25-30. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db851f1e7ef85.29058201

18. Cheremisin A. I., Yakimova I. A., Elina A. M. The effect of weather conditions on potato variety resistance to fungal diseases in seed nurseries. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020;(12(194)):10-17. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44394255

19. Ivanyuk V. G., Aleksandrov O. T. Efficiency of agrotechnical measures against potato rhizoctoniosis. *Vestsi Akademii agrarnykh navuk Belarusi*. 1996;(2):55-60. (In Belarus). URL: http://vesti.belal.by/vesti/pdf/19960215.pdf

20. Malyuga A. A., Chulikova N. S., Enina N. N. Influence of mineral fertilizers and disinfectants on the development of the potato rhizoctonia disease and crop yield. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(9):9-11. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35605124

21. Khalipskiy A. N., Churakov A. A., Stupnitskiy D. N., Khizhnyak S. V., Abduraimov P. O. Influence of nutrition background, territory relief on potato productivity and spread of its diseases. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(8):31-34. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30053594

22. Vasil'ev A. A. The influence of balanced nutrition, tuber treatment and potato planting dates on the productivity and quality of tubers. *Zemledelie*. 2021;(2):22-26. DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10205

Сведения об авторах

Смук Василий Васильевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4763-9082**

✉ **Шпанев Александр Михайлович,** доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории опытного дела, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4346-318X**, e-mail: ashpanev@mail.ru

Information about the authors

Vasiliy V. Smuk, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdanskiy prospekt**,** 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4763-9082**

✉ **Alexandr M. Shpanev**, DSc in Biological Science, chief researcher, the Laboratory of Experimental Work, Agrophysical Research Institute, Grazhdanskiy prospekt**,** 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4346-318X,** e-mail: ashpanev@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.249-256
УДК 631:633.3 (571.1)

(cc) BY

Вклад многолетних кормовых культур в азотный баланс агроэкосистем Западной Сибири

© 2023. В. С. Бойко ✉, Н. А. Воронкова, А. Ю. Тимохин, Н. Ф. Балабанова
ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация

В статье представлены результаты экспериментов, полученных в стационарных опытах на основе зернопарового и зернотравяного севооборотов на лугово-черноземной почве в условиях Омской области. Установлено влияние предшественников яровой пшеницы (люцерна 3-го года жизни и чистый пар) на отдельные элементы плодородия почвы и урожайность культуры. Выявлено, что при возделывании яровой пшеницы по пару в зернопаровом севообороте баланс азота отрицательный (-28 кг/га) с интенсивностью 66 %. В зернотравяном севообороте при посеве пшеницы по пласту многолетних трав достигнут положительный баланс азота (+21,0 кг/га) с интенсивностью 119 %. Благоприятное влияние бобового компонента в севообороте на азотный режим почвы существенно увеличило урожайность яровой пшеницы на 0,5 т/га в сравнении с пшеницей, возделываемой в полевом севообороте по чистому пару. В аналогичных условиях проведены исследования на орошаемой лугово-черноземной почве в восьмипольном стационарном зернотравяном севообороте. Изучен вынос азота урожаем различных многолетних трав, а также отзывчивость люцерны, костреца и донника параметрами продуктивности на уровень азотно-фосфорного питания. Текущая мобилизация азота в этих условиях под вегетирующим кострецом на фоне без удобрений составила 76 кг/га. При оптимизации фосфатного режима почвы этот показатель повышался до 99 кг/га. Вынос азота люцерной на аналогичных агрофонах увеличивался за счет симбиотически фиксированного азота соответственно на 89 и 193 кг/га, или в 2,2 и 2,9 раза. Люцерна и донник положительно реагировали на улучшение условий минерального питания ($P_{60}N_{60-160}$). На люцерне 1-5 гг. жизни сбор зеленой массы и кормовых единиц увеличился до 40,56 и 7,00 т/га соответственно, или на 86 и 54 % относительно контроля без удобрений, при 82,76 ГДж обменной энергии на гектар. Продуктивность донника 2-го года жизни увеличилась до 30,85 т/га зеленой массы и 2,83 т/га кормовых единиц, или на 37 и 17 % относительно контроля.

Ключевые слова: *лугово-черноземная почва, баланс азота, содержание подвижного фосфора, многолетние травы, орошение*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № FNUN-2022-0015).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бойко В. С., Воронкова Н. А., Тимохин А. Ю., Балабанова Н. Ф. Вклад многолетних кормовых культур в азотный баланс агроэкосистем Западной Сибири. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):249-256. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.249-256

Поступила: 30.01.2023 Принята к публикации: 30.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

The contribution of perennial fodder crops to the nitrogen balance of agroecosystems in Western Siberia

© 2023. Vasiliy S. Boiko ✉, Natalya A. Voronkova, Artem Yu. Timokhin, Natalya F. Balabanova
Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russian Federation

The article presents the results of experiments obtained in stationary experiments on the basis of grain-fallow and grain-grass crop rotations on meadow-chernozem soil in the Omsk region. The influence of spring wheat precursors (alfalfa of the 3rd year of life and fallow) on individual elements of soil fertility and crop yield has been established. It was revealed that when cultivating spring wheat by fallow in the grain-fallow crop rotation, the nitrogen balance (-28 kg/ha) is negative with an intensity of 66 %. When sowing wheat in grain-grass crop rotation on a layer of perennial grasses, the nitrogen balance is positive (+21.0 kg/ha) and the intensity is 119 %. The favorable effect of the legume component in the crop rotation on the nitrogen regime of the soil significantly increased the yield of spring wheat by 0.5 t/ha in comparison with wheat cultivated in the field crop rotation by bare fallow. Under similar conditions, studies were carried out on irrigated meadow-chernozem soil in an eight-field stationary grain-grass crop rotation. The removal of nitrogen by the yield of various perennial grasses, as well as the responsiveness of alfalfa, bromus and sweet clover with productivity parameters to the level of nitrogen-phosphorus nutrition, were studied. The current mobilization of nitrogen under these conditions under the vegetative brome

without fertilizers was 76 kg/ha. When optimizing the phosphate regime of the soil, this indicator increased to 99 kg/ha. The removal of nitrogen by alfalfa on similar agricultural backgrounds increases due to symbiotically fixed nitrogen, by 89 and 193 kg/ha, respectively, or 2.2 and 2.9 times. Alfalfa and sweet clover responded positively to the improvement of mineral fertilizing conditions ($P_{60}N_{60-160}$). In alfalfa of the 1-5 year of life the collection of green mass and fodder units increased to 40.56 and 7.00 t/ha, respectively, or by 86 and 54 % relative to the control without fertilizers, with 82.76 GJ of exchange energy per hectare. The productivity of sweet clover of the 2nd year of life increased up to 30.85 t/ha of green mass and 2.83 t/ha of fodder units or by 37 и 17 % relative to the control.

Keywords: *meadow-chernozem soil, nitrogen balance, content of mobile phosphorus, perennial grasses, irrigation*

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 Omsk Agricultural Scientific Center (theme No. FNUN-2022-0015).

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: Boiko V. S., Voronkova N. A., Timokhin A. Yu., Balabanova N. F. The contribution of perennial fodder crops to the nitrogen balance of agroecosystems in Western Siberia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):249-256. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.249-256

Received: 30.01.2023 Accepted for publication: 30.03.2023 Published online: 25.04.2023

Основная парадигма современного земледелия – сохранение почвенного плодородия и получение максимально возможных урожаев сельскохозяйственных культур высокого качества. Это обеспечивается, прежде всего, рациональным применением удобрений и биологических ресурсов (растительных остатков, органических отходов различного происхождения, травосеяния) в составе ресурсо- и энергосберегающих технологий [1, 2, 3, 4].

Такими приемами можно нивелировать различия в балансе элементов минерального питания и органического вещества между природными и агрогенными экосистемами [5, 6]. В агроценозах на поступление и накопление растительной биомассы в почве влияет набор культур в севообороте, применение систем удобрения и обработки почвы [7, 8, 9, 10]. Существенная роль в пополнении органического вещества почвы, сохранении ее плодородия принадлежит многолетним травам и, прежде всего, бобовым. Положительное влияние их обусловлено способностью к фиксации биологического азота, накоплению в почве большого количества корневых и пожнивных остатков с высокой степенью их гумификации. Многолетние травы, имея развитую корневую систему, благотворно влияют на агрофизические показатели почвы, защищая ее от эрозии и дефляции [11, 12].

По мнению ряда авторов – Е. Н. Мишустина, Н. И. Черепкова [13], А. Е. Нагибина с соавторами [14], М. М. Сабитова [15] и др., эффективность многолетних трав как предшественников для других культур зависит от уровня их урожая, почвенно-климатических условий, вида трав и состава травосмесей, сроков и способов заделки пласта, засоренности посевов и по влиянию на урожайность зерновых культур не уступает чистым парам.

Однако исследований, направленных на сравнительную оценку баланса азота в зернотравяных и зернопаровых севооборотах, а также изучение выноса азота и продуктивности многолетних бобовых и бобово-мятликовых травостоев на лугово-черноземных почвах в условиях лесостепи Западной Сибири, недостаточно, что и послужило необходимостью изучения данного вопроса.

Цель исследований – изучить влияние условий минерального питания на азотный режим под многолетними бобовыми и бобово-мятликовыми травостоями на лугово-черноземных почвах в условиях лесостепи Западной Сибири.

Новизна исследований – получение новых научных данных на основе многолетних полевых экспериментов по балансу азота под многолетними травами на лугово-черноземных почвах Западной Сибири.

Материал и методы. Полевые эксперименты проводили в южной лесостепи Западной Сибири в четырёхпольном зернотравяном (люцерна 1-3 года жизни – яровая мягкая пшеница – яровая мягкая пшеница – овес) и пятипольном зернопаровом (чистый пар – яровая мягкая пшеница – соя – яровая мягкая пшеница – яровой ячмень) севооборотах, заложенных в 1987-1988 гг.

Почва опытного участка лугово-черноземная, среднемощная, среднегумусная, тяжелосуглинистая. Исходное содержание гумуса в пахотном слое 6,4-6,6 % (по Тюрину), подвижный P_2O_5 и обменный K_2O – соответственно 105-128 и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову), обменные Ca^{2+} – 89 и Mg^{2+} – 11 мг-экв/100 г

в поглощающем комплексе почвы, $pH_{сол}$ 6,4-6,7. Повторность четырехкратная, общая площадь делянок 200 и 160 м^2, учетная – 36 м^2.

В аналогичных почвенно-климатических условиях проведены исследования на орошаемой лугово-черноземной почве. На фоне орошения дождеванием в полях, в том числе выводных, восьмипольного стационарного зернотравяного севооборота (1978 г. закладки) изучены параметры выноса азота с урожаем многолетних бобовых и мятликовых трав в различных вариантах удобренности почвы, а также отзывчивость люцерны, костреца и донника белого продуктивностью на уровень азотно-фосфорного питания.

Почва орошаемого участка – лугово-черноземная тяжелосуглинистая, с исходным содержанием гумуса в пахотном слое 6,57 % и различной обеспеченностью подвижным фосфором (по Чирикову) на фонах: 0 – среднее содержание (50…100 мг/кг – естественный уровень); I – повышенное (100…150 мг/кг); II – высокое (150…200 мг/кг); III – очень высокое (более 200 мг/кг почвы). Фосфорсодержащие минеральные удобрения вносили под основную обработку почвы на все года пользования многолетних трав, азотные – в дозе $N_{40–60}$ дисковой сеялкой врезали до посева и под каждый укос в последующие годы жизни. Повторность в опытах трехкратная, общая площадь делянки 360 м^2, учетная – 78 м^2.

Закладку опытов и обработку данных методом дисперсионного анализа осуществляли по Б. А. Доспехову[1]. Агрохимические анализы почвы и растений проводили общепринятыми стандартными методами. Баланс азота и его интенсивность рассчитывали по методике Е. П. Трепачева[2].

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ двух севооборотов (зернотравяного и зернопарового) показал, что в первом севообороте в приходной статье баланса органического вещества, кроме растительных остатков зерновых культур, бóльшую долю составляла послеуборочная биомасса многолетних бобовых трав. Для учета вклада биологического азота растительных остатков в азотный режим лугово-черноземной почвы был рассчитан баланс данного макроэлемента и его интенсивность, по которой можно оценить уровень поступления и расхода азота.

Баланс азота в почве зернопарового и зернотравяного севооборотов существенно различался (рис. 1): в первом он был дефицитным (-28 кг/га) при интенсивности 66 %, в агроценозе с люцерной (50 % в севообороте) – профицитным (+21 кг/га) с интенсивностью 119 %.

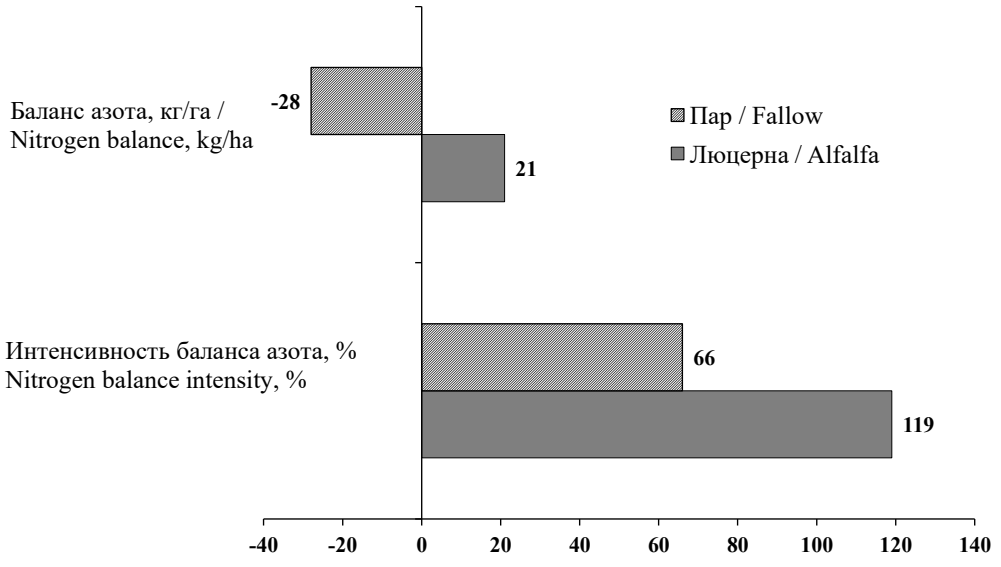


Рис. 1. **Баланс и интенсивность баланса азота в севооборотах с чистым паром и люцерной (2000-2018 гг.) /**
Fig. 1. **Balance and intensity of nitrogen balance in crop rotations with bare fallow and alfalfa (2000-2018)**

[1]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.
[2]Трепачев Е. П. О понятии «вынос азота» для бобовых культур. Агрохимия. 1979;(11):21-24.

Улучшение условий азотного питания растений объясняется, прежде всего, обогащением почвы растительными остатками люцерны 3 г. п., так как более 82 % в приходной статье баланса азота в зернотравяном севообороте приходится на растительные остатки данной культуры.

Стабильное функционирование почвенного покрова сельскохозяйственных ландшафтов, включающее оптимизированное сочетание физико-химических и биологических процессов в почве, определяет плодородие и продуктивность растений [16].

Пласт люцерны, как предшественник зерновых, в том числе яровой пшеницы, активизирует биологические процессы в почве. Общее количество микроорганизмов превышало паровой предшественник на 41 %, КАА – на 49 %, олигонитрофилов – на 48 %, нитрификаторов – на 37 %. При этом происходило увеличение активности катализирующих гидролитические процессы ферментов – инвертазы и уреазы на 13 и 27 % соответственно. Окислительно-восстановительные процессы, характеризующиеся активностью каталазы, возрастали на 37 % в сравнении с паровым предшественником [17].

Активность целлюлозоразрушающей микробиоты зависит от содержания в почве доступных форм макроэлементов и отражает в целом направленность хода микробиологических процессов в почве [18]. Интенсивность разложения целлюлозы в лугово-черноземной почве возрастала на 48 % под пшеницей после люцерны в сравнении с паровым предшественником.

Нитрификационная способность почв, характеризующая потенциал легкоминерализуемых азотсодержащих органических веществ после распашки люцерны 3-го года жизни, на 67 % превышала паровой предшественник.

Поступление в почву свежего обогащенного азотом органического вещества способствовало повышению биологической активности и накоплению питательных веществ.

Содержание нитратного азота в почве перед посевом пшеницы после распашки бобового компонента было высоким, как и после парования, обеспечивая увеличение урожайности яровой мягкой пшеницы на 5,0 ц/га в сравнении с пшеницей по пару (рис. 2).

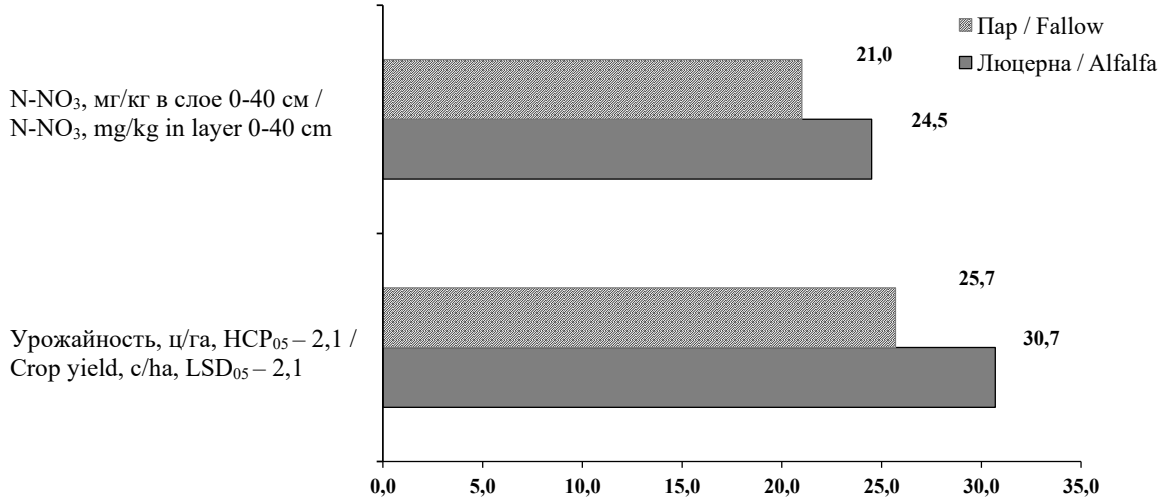


Рис. 2. **Влияние предшественника на содержание нитратного азота в почве и урожайность зерна яровой мягкой пшеницы (в среднем за 2000-2018 гг.) /**

Fig. 2. **Influence of preceding crop on the content of nitrate nitrogen in the soil and grain yield of spring soft wheat (on average for 2000-2018)**

На среднеобеспеченной подвижным фосфором орошаемой лугово-черноземной почве азот нитрификации использовался мятликовой культурой (кострец безостый) в количестве 76 кг/га, при повышенной обеспеченности фосфором – 99 кг/га (табл. 1).

Люцерна 2-4 года жизни на аналогичных агрофонах увеличивала вынос азота за счет симбиотической фиксации его диазотрофами на 89 и 193 кг/га, или в 2,2 и 2,9 раза. Вынос азота в контроле (без внесения минерального азота) составил 265 кг/га в среднем по фонам обеспеченности P_2O_5, что втрое больше выноса его кострецом безостым на аналогичном фоне.

Донник 2 года жизни в варианте без удобрений при одноукосном использовании выносил 110 кг/га азота, а на фоне оптимизации фосфорного и азотного питания – 124 и 129 кг/га соответственно.

Таблица 1 – **Вынос азота с урожаем зеленой массы многолетних трав, кг/га** /
Table 1 – **Removal of nitrogen with the yield of green mass of perennial grasses, kg/ha**

Норма внесения азота, кг/га / Nitrogen application dose, kg/ha	*Фон обеспеченности P_2O_5 / P_2O_5 availability background*			
	средний / medium	*повышенный / increased*	*высокий / high*	*очень высокий / very high*
Люцерна 2-4 гг. жизни, 1988-1990 гг./ Alfalfa of the 2-4 years of life, 1988-1990				
0	165	292	300	303
160	152	326	324	308
Изменение выноса от азотных удобрений, % / Change in removal from nitrogen fertilizers, %				
-	-8	11	8	2
Кострец безостый 2-5 гг. жизни, 1987-1990 гг. / Bromus of the 2-5 years of life, 1987-1990				
0	76	99	85	79
160	146	187	178	182
Увеличение выноса от бобовой культуры / Increasing nitrogen removal from legumes				
0	89	193	215	224
160	6	139	146	126
Донник белый 2 г. жизни, 1 укос, среднее за 1987-1990 гг. / Sweet clover of the 2nd year of life, 1 cut, average for 1987-1990				
0	110	119	124	120
60	106	127	129	130
Изменение выноса от азотных удобрений, % / Change in removal from nitrogen fertilizers, %				
-	-4	7	4	8

Примечание. Норма внесения азота (160 кг д. в.) под люцерну и кострец включает ежегодное его применение под каждый из трех укосов ($N_{60+60+40}$) /

Note. Nitrogen application rate (160 kg a. i.) for alfalfa and bromus includes its annual application for each of the three cuttings ($N_{60+60+40}$)

Азотные удобрения на бобовых травах прошлых лет посева, судя по выносу, малоэффективны. Вынос азота люцерной увеличился на 24-34 кг/га (8-11 %), донником – на 5-10 кг/га (4-8 %) к соответствующим контролям.

Вынос азота кострецом безостым под влиянием азотных удобрений, в сравнении с контролем, удваивается. Максимальным он был на фоне с повышенной обеспеченностью фосфором – 187 кг/га, что на 28 % больше, чем в варианте с внесением азотных удобрений при средней обеспеченности почвы подвижным фосфором.

Многолетние бобовые травы (люцерна и донник) высокопродуктивны и положительно реагируют на улучшение условий минерального питания, особенно фосфором. На люцерне 1-5 гг. жизни сбор зеленой массы и кормовых единиц увеличился до 40,56 и 7,00 т/га соответственно, или на 86 и 54 %, при 82,76 ГДж обменной энергии на гектар (табл. 2).

Донник 2-го года жизни в этих условиях также энергетически высокоэффективен – продуктивность культуры увеличивается до 30,85 т/га зеленой массы, в том числе 2,83 т/га кормовых единиц при 22,58 и 2,42 т/га соответственно в контроле, получено 44,72 ГДж/га обменной энергии при коэффициенте энергетической эффективности – 2,96. Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином в сухом веществе донника белого во 2 г. ж. достигает 200 г.

Кострец менее эффективен по показателям продуктивности в сравнении с бобовыми травами. Однако оптимизация азотно-фосфорного питания на орошаемом фоне повышает его кормовую и энергетическую ценность до конкурентных значений.

Таблица 2 – **Продуктивность многолетних трав в зависимости от условий выращивания /**
Table 2 – **Productivity of perennial grasses depending on growing conditions**

Культура / Crop	*Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)*	*Среднеудобренный фон ($P_{60}N_{60-160}$) / Medium fertilized background ($P_{60}N_{60-160}$)*
Люцерна 1-4 гг. жизни, 1987-1990 гг. / Alfalfa of the 1-4 years of life, 1987-1990		
Зеленая масса, т/га / Biomass, t/ha	21,80	40,56
Кормовые единицы, т/га / Feed units, t/ha	4,54	7,00
Обменная энергия в урожае, ГДж/га / Exchange energy in the yield, GJ/ha	55,44	82,76
Коэффициент энергетический эффективности / Energy efficiency factor	2,92	3,76
Кострец 1-5 гг. жизни, 1986-1990 гг. / Bromus of the 1-5 years of life, 1986-1990		
Зеленая масса, т/га / Biomass, t/ha	13,62	32,03
Кормовые единицы, т/га / Feed units, t/ha	2,14	4,95
Обменная энергия в урожае, ГДж/га / Exchange energy, GJ/ha	29,99	68,89
Коэффициент энергетический эффективности / Energy efficiency factor	1,80	2,43
Донник белый 2 г. жизни, среднее за 1987-1990 гг. / Sweet clover of the 2nd year of life, average for 1987-1990		
Зеленая масса, т/га / Biomass, t/ha	22,58	30,85
Кормовые единицы, т/га / Feed units, t/ha	2,42	2,83
Обменная энергия в урожае, ГДж/га / Exchange energy the yield, GJ/ha	37,58	44,72
Коэффициент энергетический эффективности / Energy efficiency factor	2,81	2,96

Выводы. В агроценозах южной лесостепи Западной Сибири в связи с низким уровнем применения удобрений очевиден дефицит элементов минерального питания. Установлено, что при введении в севооборот бобового компонента (50 %) улучшается азотный режим почвы и продуктивность агроценоза. В зернотравяном севообороте при посеве яровой пшеницы по пласту люцерны формируется положительный баланс азота (+21,0 кг/га) с интенсивностью 119 %. Урожайность яровой пшеницы по пласту многолетних бобовых трав на 19 % выше в сравнении с чистым паром. В условиях орошения вынос азота многолетними бобовыми травами (люцерна) увеличивается до 300 кг/га за счет симбиотической фиксации. Основным условием является улучшение питания фосфором.

Средообразующая роль многолетних бобовых и бобово-мятликовых травостоев на неполивных и орошаемых лугово-черноземных почвах лесостепи Западной Сибири заключается в сохранении плодородия на высоком уровне.

Список литературы

1. Гамзиков Г. П., Сулейменов С. З. Влияние биомассы растений на азотный режим серой лесной почвы и продуктивность полевых культур. Российская сельскохозяйственная наука. 2020;(4):32-36. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262720040080 EDN: YBDCAS

2. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации. М.: РАН, 2019. 252 с.

3. Blanchet G., Gavazov K., Bragazza L., Sinaj S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. Agric. Ecosyst. Environ. 2016;230:116-126. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.032

4. Тютюнов С. И., Воронин А. Н., Соловиченко В. Д. Биологизация земледелия как фактор повышения содержания органического вещества в почве и роста продуктивности культур. Сахарная свекла. 2019;(7):32-35. DOI: https://doi.org/10.25802/SB.2019.57.65.007 EDN: QUHIRD

5. Сычев В. Г., Налиухин А. Н., Шевцова Л. К, Рухович О. В., Беличенко М. В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России. Почвоведение. 2020;(12):1521-1536. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138 EDN: QUGQQM

6. Милащенко Н. З., Шкуркин С. И., Чернова Л. С., Трушкин С. В. Экологически безопасная интенсификация зональных технологий для увеличения производства продовольственного зерна пшеницы. Плодородие. 2021;(4):63-65. DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.19 EDN: BRNRJA

7. Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Юшкевич Л. В. Содержание органического вещества в лугово-черноземной почве при различных системах обработки. Плодородие. 2021;(6):13-16. DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.04 EDN: EHJWLX

8. Замятин С. А., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивно-корневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(6):594-601. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601 EDN: BEVVCY

9. Кравцова Е. В., Рудакова Л. В. Изменение агрохимических показателей чернозема обыкновенного под влиянием сидеральных культур. Аграрный вестник Урала. 2019;(4):12-19. DOI: https://doi.org/10.32417/article_5cf94d7fa5cc35.98074134 EDN: XOPUDM

10. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. Sustainability. 2017;9(12):2316. DOI: https://doi.org/10.3390/su9122316

11. Постников П. А., Попова В. В., Данько Е. Ф., Васина О. В. Урожайность культур, вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте. Плодородие. 2022;(3):16-19. DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.04 EDN: URSFJO

12. Постников П. А., Бородулина Ф. А., Васина О. В., Тиханская Е. Л. Продуктивность севооборотов с различным насыщением клевером в зависимости от фона питания. Земледелие. 2022;(2):15-18. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48158285 EDN: PICCDH

13. Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Роль бобовых культур и свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов азотном балансе земледелия. Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрение-вода. М.: Наука, 1979. С. 9-17.

14. Нагибин А. Е., Тормозин М. А., Зырянцева А. А. Травы в системе кормопроизводства. Екатеринбург, 2018. 784 с.

15. Сабитов М. М. Влияние многолетних трав на повышение плодородия почв и продуктивности зерновых культур. Агрохимический вестник. 2019;(5):50-54. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41121002 EDN: MGOIIE

16. Griffiths B. S., Bonkowski M., Roy J., Ritz K. Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts. Applied Soil Ecology. 2001;16(1):49-61. DOI: https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00081-0

17. Козлов А. В., Куликова А. Х., Селицкая О. В., Уромова И. П. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019;(46):26-47. DOI: https://doi.org/10.17223/19988591/46/2 EDN: MBNMZC

18. Shuliko N. N., Khamova O. F., Timokhin A. Y., Boiko V. S., Tukmacheva E. V., Krempa A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer. Sci Rep. 2022;12(1):14672. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1

References

1. Gamzikov G. P., Suleymenov S. Z. Influence of plant biomass on nitrogen soil mode and productivity of field crops. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(4):32-36. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262720040080

2. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Ecology of nitrogen fixation. Moscow: *RAN*, 2019. 252 p.

3. Blanchet G., Gavazov K., Bragazza L., Sinaj S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. Agric. Ecosyst. Environ. 2016;230:116-126. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.032

4. Tyutyunov S. I., Voronin A. N., Solovichenko V. D. Biologization of agriculture as a factor of increasing the content of organic matter in the soil and the growth of crop productivity. *Sakharnaya svekla*. 2019;(7):32-35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25802/SB.2019.57.65.007

5. Sychev V. G., Naliukhin A. N., Shevtsova L. K, Rukhovich O. V., Be-lichenko M. V. Influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2020;(12):1521-1536. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138

6. Milashchenko N. Z., Shkurkin S. I., Chernova L. S., Trushkin S. V. Environmentally safe intensification of zonal technologies as an opportunity to increase the production of food grain wheat. *Plodorodie*. 2021;(4):63-65. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.19

7. Voronkova N. A., Balabanova N. F., Yushkevich L. V. The content of organic matter in meadow-chernozem soil under various treatment systems. *Plodorodie*. 2021;(6):13-16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.04

8. Zamyatin S. A., Efimova A. Yu., Maksutkin S. A. The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(6):594-601. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601

9. Kravtsova E. V., Rudakova L. V. Change of agrochemical indicators the chernozem ordinary under the influence of sideralny cultures. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;(4):12-19. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/article_5cf94d7fa5cc35.98074134

10. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. Sustainability. 2017;9(12):2316. DOI: https://doi.org/10.3390/su9122316

11. Postnikov P. A., Popova V. V., Danko E. F., Vasina O. V. Crop yield, removal and balance of nutrition elements in the grain crop rotation. *Plodorodie*. 2022;(3):16-19. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48158285

12. Postnikov P. A., Borodulina F. A., Vasina O. V., Tikhanskaya E. L. Productivity of crop rotations with different clover saturation depending on the nutrition background. *Zemledelie*. 2022;(2):15-18. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48158285

13. Mishustin E. N., Cherepkov N. I. The role of legumes and free-living nitrogen-fixing micro-organisms in the nitrogen balance of agriculture. Nitrogen cycle and balance in the soil-fertilizer-water system. Moscow: *Nauka*, 1979. pp. 9-17.

14. Nagibin A. E., Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Herbs in the feed production system. Ekaterinburg, 2018. 784 p.

15. Sabitov M. M. Influence of perennial grasses to increase the fertility and productivity of grain crops. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(5):50-54. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41121002

16. Griffiths B. S., Bonkowski M., Roy J., Ritz K. Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts. Applied Soil Ecology. 2001;16(1):49-61.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00081-0

17. Kozlov A. V., Kulikova A. Kh., Selitskaya O. V., Uromova I. P. Stability of microbiological activity of the sod-podsolic soil when applying diatomite and zeolite. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology. 2019;(46):26-47. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.17223/19988591/46/2

18. Shuliko N. N., Khamova O. F., Timokhin A. Y., Boiko V. S., Tukmacheva E. V., Krempa A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer. Sci Rep. 2022;12(1):14672. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1

Сведения об авторах

✉ **Бойко Василий Сергеевич**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4871-231X,** e-mail: boiko@anc55.ru

Воронкова Наталья Артемовна, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4797-9765**

Тимохин Артем Юрьевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5120-4068

Балабанова Наталья Федоровна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1445-2203**

Information about the authors

✉ **Vasiliy S. Boiko**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4871-231X**, e-mail: boiko@anc55.ru

Natalya A. Voronkova, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4797-9765**

Artem Yu. Timokhin, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5120-4068**

Natalya F. Balabanova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Korolev Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1445-2203**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.257-266
УДК 631.62

Формирование уровней грунтовых вод осушаемых земель в природно-климатических условиях Новгородской области

© 2023. О. В. Балун✉, Е. П. Шкодина, В. А. Яковлева, С. Ю. Жукова
ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследования по формированию уровней грунтовых вод (УГВ) проведены на системах открытого и закрытого дренажа в природно-климатических условиях Новгородской области в течение 30 лет на двух опытно-производственных участках. На первом участке расположены четыре конструкции закрытого дренажа: мелкий (глубина заложения дрен 70 см); среднезаглубленный (глубина заложения дрен 110 см) с различными вариантами засыпки дренажной траншеи – древесной щепой и песчано-гравийной смесью; друхъярусный (глубина заложения дрен 110 и 60 см). На втором участке расположено четыре конструкции открытого дренажа: каналы; ложбины – без гидромелиоративных сооружений; с дренажем по дну – трубчатым и бесполостным. Получены среднемноголетние данные по режимам грунтовых вод на опытных конструкциях и сделаны выводы, что среднесезонный УГВ, формируемый системами закрытого дренажа, на 18 см ниже по сравнению с системами открытого; наиболее благоприятный режим грунтовых вод формируют осушительные системы двухъярусного дренажа. Проанализированы зависимости уровней грунтовых вод, формируемых в наиболее напряженные периоды работы осушительных систем (май – 1-я декада июня), от количества осадков за предыдущие периоды. Выявлено, что теснота связи между уровнями грунтовых вод и количеством выпавших осадков в вариантах открытого дренажа менее тесная (r^2 = 0,01-0,30) по сравнению с вариантами закрытого (r^2 = 0,02-0,54). Наиболее тесную связь на системах закрытого дренажа наблюдали между УГВ третьей декады мая и осадками за май: в этот период при увеличении осадков на 1 мм грунтовые воды поднимались на 0,3 см в варианте с засыпкой древесной щепой и на 0,6 см – в вариантах мелкого и двухъярусного дренажа.

Ключевые слова: *закрытый дренаж, открытый дренаж, ложбины стока, режимы грунтовых вод, осадки*

***Благодарности**:* работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема № FFZF-2022-0010).

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

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

***Для цитирования**:* Балун О. В., Шкодина Е. П., Яковлева В. А., Жукова С. Ю. Формирование уровней грунтовых вод осушаемых земель в природно-климатических условиях Новгородской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):257-266. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.257-266

Поступила: 06.02.2023 Принята к публикации: 27.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Formation of groundwater levels of drained lands in the natural and climatic conditions of the Novgorod region

© 2023. Olga V. Balun ✉, Elena P. Shkodina, Valentina A. Yakovleva, Svetlana Yu. Zhukova
St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

Studies on the formation of groundwater levels have been carried out on open and closed drainage systems in the natural and climatic conditions of the Novgorod region for more than 30 years at 2 pilot production sites. On the first site there are 4 structures of closed drainage: shallow with a depth of 70 cm; medium-deep drainage (drainage depth 110 cm) with various options for filling the drainage trench-wood chips and sand-gravel mixture; two-tier drainage (drainage depth 110 and 60 cm). On the second site there are four open drainage structures: channels; hollows – without hydro-reclamation structures; with drainage along the bottom-tubular and strip-free. The average long-term data on groundwater regimes on experimental structures were obtained and conclusions were drawn that the average seasonal groundwater level formed by closed drainage systems is 18 cm lower compared to open drainage systems; the most favorable groundwater regime is formed by drainage systems of two-tier drainage. The dependences of groundwater levels formed during the most intense periods of operation of drainage systems (May – 1st decade of June) on the amount of precipitation for previous periods are analyzed. It was revealed that the closeness of the relationship between groundwater levels and the amount of precipitation in the open drainage variants is less close (r^2 = 0.01-0.30) compared with the closed drainage variants (r^2 = 0.02-0.54). The closest relationship on closed drainage systems is observed between the groundwater level of the third decade of May and precipitation for May: during this period, with an increase in precipitation by 1 mm, groundwater rises by 0.3 cm – in the variant with chip filling and by 0.6 cm – in the variants of shallow and two-tier drainage.

Keywords: *closed drainage, open drainage, runoff hollows, groundwater regimes, precipitation*

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 St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FFZF-2022-0010).

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

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

For citation: Balun O. V. Shkodina E. P., Yakovleva V. A., Zhukova S. Yu. Formation of groundwater levels of drained lands in the natural and climatic conditions of the Novgorod region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):257-266. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.257-266

Received: 06.02.2023 Accepted for publication: 27.03.2023 Published online: 25.04.2023

Новгородская область расположена в зоне избыточного увлажнения, где более половины сельскохозяйственных угодий расположены на почвах тяжелого гранулометрического состава с плоским рельефом. В таких условиях они периодически находятся в переувлажненном состоянии и не могут обеспечить стабильное получение планируемой сельскохозяйственной продукции. Радикальным методом решения данной проблемы уже многие тысячелетия является осушение сельскохозяйственных угодий [1, 2].

Современные осушительные системы направлены на повышение продуктивности мелиорированных земель [3, 4]. Исследования, проведенные в Тверской области, показали, что продуктивность осушаемых земель на 17-19 % выше по сравнению с неосушаемыми как на фоне применения удобрений, так и без удобрений [5, 6, 7].

Основная задача мелиоративной осушительной системы – снижение уровня грунтовых вод (УГВ) до значений, обеспечивающих в корнеобитаемом слое почвы благоприятную для выращиваемых культур влажность, что трактуется как норма осушения [8]. Использование критической глубины уровня грунтовых вод в качестве критерия оценки эколого-мелиоративного состояния почв подтвердили проводимые в Новосибирской области исследования, в которых выявилась её зональность и зависимость от амплитуд колебаний УГВ [9].

Уровни грунтовых вод оказывают большое влияние как в гумидной, так и аридной зонах на экологические и гидрологические процессы, приводящие к изменению наземной растительности. В результате многолетних (1980-2018 гг.) полевых и лизиметрических исследований на осушаемых сезонно-мерзлотных почвах Западной Сибири установлена оптимальная глубина УГВ для юга Тюменской области для однолетних трав (0,9-1,1 м) и многолетних трав (0,7-0,8 м) [10]. Вопросами взаимосвязи между растительностью и глубиной залегания грунтовых вод занимались китайские ученые в засушливых и полузасушливых районах, для которых были определены классы растительности, чувствительной и нечувствительной к изменению УГВ [11]. В Нечерноземной зоне РФ при выращивании картофеля на осушаемых дерново-подзолистых почвах не всегда можно использовать капиллярную влагу, поступающую из грунтовых вод, поэтому для повышения урожайности часто требуется проведение поливов [12]. Изучение мелиоративного состояния осушаемых земель на польдерах в Славском районе Калининградской области позволило выявить оптимальные уровни откачки насосной станцией, зависимости уровней грунтовых вод от абсолютной отметки земной поверхности, и на их основе рекомендовать диапазон абсолютных отметок земли для выращивания на польдере сельскохозяйственной продукции [13]. Режим уровней грунтовых вод осушаемых земель, по исследованиям в Брестской области Республики Беларусь, зависит от климатических условий и состояния осушительной сети. Отмечено, что неудовлетворительное функционирование осушительной сети оказывает негативное влияние на эколого-мелиоративные свойства осушаемых земель и почвообразовательные процессы, что может вызвать как вторичное заболачивание земель, так и переосушение торфяников и их возгорание. Также было отмечено запаздывание реакции осушительной системы на осадки, независимо от их количества и интенсивности, особенно после длительных засушливых периодов [14].

Цель исследований – получение новых данных о формировании уровней грунтовых вод на системах открытого и закрытого дренажа в природно-климатических условиях Новгородской области.

Новизна исследований – впервые определены зависимости уровней грунтовых вод от метеорологических условий на различных конструкциях осушительных систем.

Материал и методы. Исследования проводили на двух опытно-производственных участках, расположенных в Новгородском районе Новгородской области, со дня ввода их в эксплуатацию и до 2021 года.

Участок закрытого дренажа «Кшентицы», построенный в 1989 году, расположен на юго-западе в 30 км от Великого Новгорода на типичных дерново-подзолистых глееватых суглинистых почвах, по гранулометрическому составу – тяжелосуглинистых с плотностью пахотного горизонта 1,3 г/см^3, подпахотного 1,6 г/см^3, коэффициентом пористости 0,5 и 0,4 соответственно. Тип водного питания – атмосферный, переувлажнение участка происходит за счет сезонных почвенных вод. На участке расположены четыре конструкции закрытого дренажа в 3-кратной повторности: мелкий (глубина заложения дрен 70 см); среднезаглубленный (глубина заложения дрен 110 см) с двумя вариантами засыпки дренажной траншеи – древесной щепой и песчано-гравийной смесью (ПГС); двухъярусный дренаж, состоящий из нижнего яруса дрен на глубине 110 см и перпендикулярного ему верхнего яруса бесполостных дрен с глубиной заложения 60 см.

Участок открытого дренажа «Ляпино», построенный в 1992 году, расположен в 5 км западнее Великого Новгорода на дерново-подзолистых глинистых почвах. По гранулометрическому составу – легкая глина, плотность пахотного горизонта 1,4 г/см^3, подпахотного – 1,5 г/см^3, коэффициент пористости 0,50 и 0,45 соответственно. Причина переувлажнения – сезонные почвенные воды, формирование которых происходит в микропонижениях рельефа за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод в рыхлом почвенном слое. На участке расположено четыре варианта конструкций открытого дренажа в 3-кратной повторности: каналы; ложбины – без дополнительных гидромелиоративных сооружений; с дренажем по дну – трубчатым и бесполостным.

Для измерения УГВ на каждую опытную систему в середине междренной полосы были установлены по две наблюдательные скважины. Наблюдения проводили весной – ежедневно, летом – 1 раз в пентаду. Режим грунтовых вод определяли по методике СевНИИГиМ[1]. Статистическую обработку данных проводили с использованием корреляционного и регрессионного анализов[2].

Результаты и их обсуждение. Наблюдения за уровнями грунтовых вод проводили на опытных вариантах закрытого дренажа с 1989 года, на вариантах открытого дренажа – с 1992 года. Климатические условия периода наблюдений (до 2021 года) показали, что май является по степени увлажнения относительно влажным с гидротермическим коэффициентом (ГТК) 1,33 единицы, в июне количество осадков увеличивается в 1,5 раза и даже на фоне роста температуры влажность возрастает (ГТК = 1,46). В июле продолжается рост температуры на фоне незначительного снижения количества осадков, что приводит к снижению влажности (ГТК = 1,18). В августе количество осадков увеличивается, температура снижается, что сказывается на степени увлажнения – ГТК = 1,56. Самой влажной отмечена третья декада июня, в течение которой выпало наибольшее количество осадков – ГТК = 1,64 единицы; самой сухой – первая декада июля с суммой осадков 19 мм и ГТК = 1,04 единицы (табл. 1).

Тридцатилетний период наблюдений позволил получить среднемноголетние данные по режимам грунтовых вод на опытных конструкциях.

На системах закрытого дренажа в течение вегетационного периода самый высокий уровень грунтовых вод наблюдался в первой декаде мая, который снижался до минимального значения в июле, в августе отмечен его подъем до июньского уровня в основном из-за повышения количества осадков на фоне снижения испаряемости (рис. 1).

Самый высокий среднемноголетний уровень грунтовых вод за вегетацию на системах закрытого дренажа наблюдали в варианте мелкого дренажа (71 см), самый низкий (89 см) – в варианте двухъярусного дренажа. Режим грунтовых вод в вариантах с засыпкой дренажной траншеи ПГС и щепой был примерно одинаковым: среднемноголетний УГВ за вегетацию составил 78 и 79 см соответственно, что на 8 см ниже по сравнению с мелким дренажем и на 10 см выше по сравнению с двухъярусным.

[1]Методические указания по постановке и проведению опытов на осушительных системах. Л., 1983. С. 54-69, 84-103.

[2]Методические указания по статистической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении. Л., 1977. С. 166-222.

Таблица 1 – **Климатические условия за период исследований (в среднем за 1989-2021 гг.) /**
Table 1 – **Climatic conditions for the observation period (average for 1989-2021)**

Месяц / Month	*Декада / Decade*	*Осадки, мм / Precipitation, mm*	*Температура, °С / Temperature, °С*	*ГТК / Hydrothermal coefficient*
Май / May	I	14	10,6	1,32
	II	16	12,0	1,33
	III	19	13,3	1,43
	Среднее / Average	16	12,0	1,33
Июнь / June	I	20	15,4	1,30
	II	23	16,3	1,41
	III	28	17,1	1,64
	Среднее / Average	24	16,4	1,46
Июль / July	I	19	18,2	1,04
	II	22	18,8	1,17
	III	25	19,1	1,31
	Среднее / Average	22	18,6	1,18
Август / August	I	27	18,2	1,48
	II	26	17,0	1,53
	III	25	15,4	1,62
	Среднее / Average	26	16,7	1,56

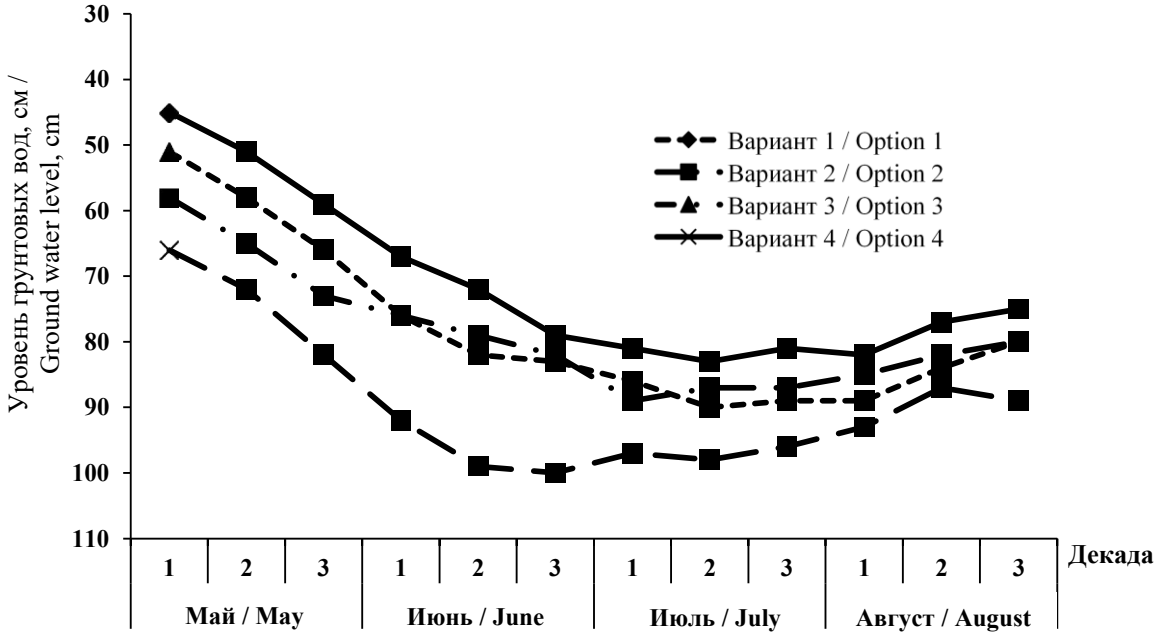


Рис. 1. **Среднемноголетняя (1989-2021 гг.) динамика уровня грунтовых вод за вегетационный период на опытных системах закрытого дренажа. Варианты: 1 – мелкий дренаж (контроль); 2 – среднезаглубленный дренаж с засыпкой траншеи древесной щепой; 3 – среднезаглубленный дренаж с засыпкой траншеи ПГС; 4 – двухъярусный дренаж /**

Fig. 1. **Average long-term (1989-2021) dynamics of the groundwater level during the growing season on experimental closed drainage systems. Options: 1 – shallow drainage (control); 2 – medium-deep drainage with filling the trench with chips; 3 – medium-deep drainage with filling the trench with sand-gravel mixture; 4 – two-tier drainage**

Максимальная скорость сработки грунтовых вод (0,52 см/сут) наблюдалась на двухъярусном дренаже (вариант 4), минимальная (0,45 см/сут) – на мелком (вариант 1). Средняя скорость подъема грунтовых вод в конце июля-августе составила 0,17 см/сут, максимальная (0,21 см/сут) – в 3 варианте, минимальная (0,14 см/сут) – в 1 варианте.

Анализ всех вышеприведенных факторов показал, что наиболее благоприятный режим грунтовых вод, характеризующийся высокой скоростью сработки УГВ и невысокой скоростью подъема в период выпадения обильных осадков за счет более интенсивного отвода внутрипочвенных вод, формируют осушительные системы двухъярусного дренажа.

Динамика грунтовых вод на системах открытого дренажа аналогична системам закрытого (рис. 2). Отличие состоит в величине среднесезонного УГВ, который составляет 61 см, что на 18 см выше, чем в вариантах закрытого дренажа при достаточно близкой амплитуде колебаний среднемноголетнего УГВ (37 и 35 см).

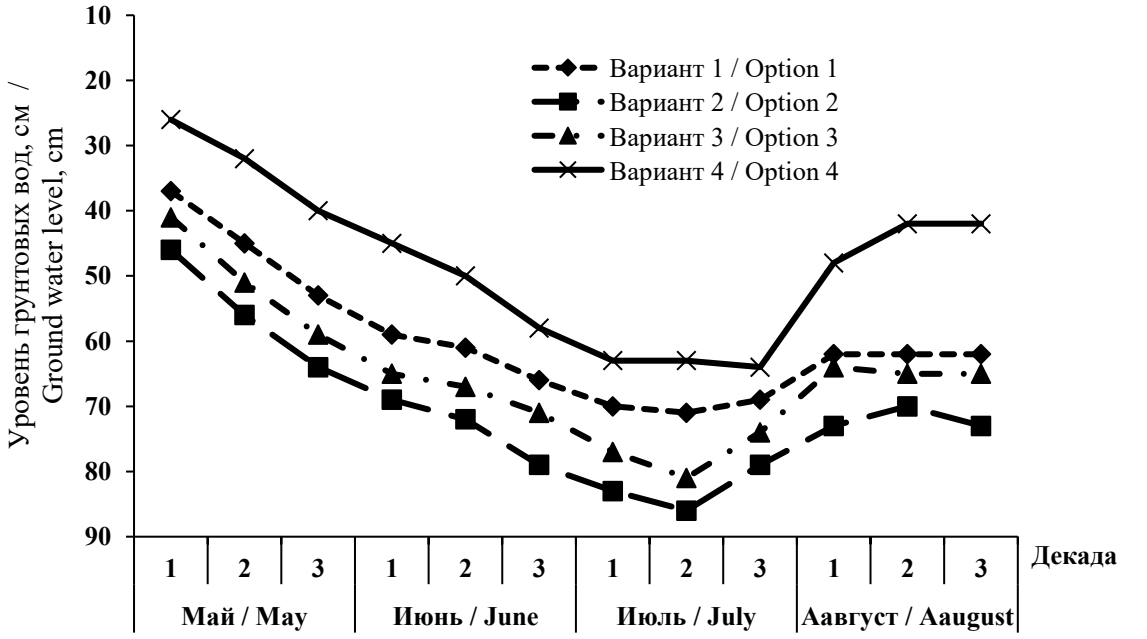


Рис. 2. **Среднемноголетняя (1992-2021 гг.) динамика уровня грунтовых вод за вегетационный период на опытных системах открытого дренажа. Варианты: 1 – каналы через 70 м (контроль); 2 – ложбины без гидромелиоративных сооружений; 3 – ложбины с трубчатым дренажем; 4 – ложбины с бесполостным дренажем /**

Fig. 2. **Average long-term (1992-2021) dynamics of the groundwater level during the growing season on experimental open drainage systems. Options: 1 – channels through 70 m (control); 2 – hollows without hydro-reclamation facilities; 3 – hollows with tubular drainage; 4 – hollows with strip-free drainage**

Самый высокий среднемноголетний уровень грунтовых вод за сезон (48 см) наблюдали в контроле, самый низкий (71 см) – на системах ложбин с трубчатым дренажем. На системах ложбин с бесполостным дренажем он был в среднем на 6 см выше по сравнению с системами ложбин с трубчатым дренажем. Ложбины без дренажа (вариант 2) обеспечили уровень грунтовых вод в среднем на 12 см ниже по сравнению с контролем.

Средняя скорость сработки УГВ на системах открытого дренажа составила 0,53 см/сут, что на 10 % выше по сравнению с вариантами закрытого дренажа, максимальная (0,58 см/сут) – в вариантах 3 и 4, минимальная (0,45 см/сут) – в контроле. С третьей декады июля начинался подъем грунтовых вод со средней скоростью 0,26 см/сут, наибольшая скорость подъема (0,52 см/сут) отмечена в контроле, наименьшая (0,14 см/сут) – в 3 варианте.

Следовательно, режим формирования уровня грунтовых вод в варианте сочетания ложбин стока с трубчатым дренажем выделился среди опытных систем открытого дренажа как наиболее оптимальный.

Формирование уровней грунтовых вод происходит под действием климатических факторов и работы осушительных систем. Исследования по влиянию климатических факторов на уровень грунтовых вод, проведенные американскими учеными с использованием гидрологической модели, позволили выявить бóльшее влияние осадков на УГВ по сравнению с температурой [15].

Для выявления подобных зависимостей в опытных вариантах проанализированы данные по уровню грунтовых вод и количеству осадков за наиболее напряженный период работы осушительных систем (май – 1-я декада июня) (табл. 2).

Таблица 2 – **Зависимость УГВ на опытных конструкциях закрытого дренажа от суммы осадков /**
Table 2 – **Dependence of groundwater levels on experimental designs of closed drainage on the amount of precipitation**

Вариант закрытого дренажа / Variant closed drainage	УГВ / Groundwater level for the period														
	май / may	Сумма осадков / Precipitation for the period													1 декада июня / 1 decade of june
		1 декада мая / 1 decade of may			2 декада мая / 2 decade of may				3 декада мая / 3 decade of may						
	май / may	апрель / april	1 декада мая / 1 decade of may	апрель + 1 декада мая / april + 1 decade of may	1 декада мая / 1 decade of may	3 декада апреля + 1 декада мая / 3 decade of April + 1 decade of may	2 декада мая / 2 decade of may	1+2 декада мая / 1+2 decade of may	май / may	2 декада мая / 2 decade of may	1+2 декада мая / 1+2 decade of may	3 декада мая / 3 decade of may	2+3 декада мая / 2+3 decade of may	май / may	
Мелкий / Shallow	y = -0,40x + 72,2 / r² = 0,29	y = -0,26x + 53,9 / r² = 0,06	y = -0,56x + 53,0 / r² = 0,15	y = -0,44x + 66,8 / r² = 0,22	y = -0,88x + 64,4 / r² = 0,27	y = -0,78x + 70,6 / r² = 0,33	y = -0,37x + 57,6 / r² = 0,09	y = -0,41x + 64,5 / r² = 0,22	y = -0,57x + 89,5 / r² = 0,41	y = -0,51x + 68,2 / r² = 0,16	y = -0,48x + 74,8 / r² = 0,27	y = -0,44x + 68,4 / r² = 0,07	y = -0,66x + 84,3 / r² = 0,31	y = -0,63x + 100,8 / r² = 0,40	
Среднезаглубленный. Засыпка дренажной траншеи щепой / Medium-deep. Filling the drainage trench with wood chips	y = -0,25x + 78,4 / r² = 0,20	y = -0,13x + 62,4 / r² = 0,02	y = -0,62x + 67,1 / r² = 0,18	y = -0,35x + 75,8 / r² = 0,15	y = -0,69x + 75,3 / r² = 0,27	y = -0,05x + 67,1 / r² = 0,01	y = -0,19x + 67,9 / r² = 0,05	y = -0,25x + 72,6 / r² = 0,16	y = -0,33x + 90,7 / r² = 0,28	y = -0,35x + 80,9 / r² = 0,10	y = -0,26x + 81,4 / r² = 0,15	y = -0,35x + 80,9 / r² = 0,10	y = -0,33x + 85,5 / r² = 0,17	y = -0,41x + 97,7 / r² = 0,26	
Среднезаглубленный. Засыпка дренажной траншеи ПГС / Medium-deep. Filling of the drainage trench of the PGS	y = -0,35x + 76,9 / r² = 0,19	y = -0,56x + 72,2 / r² = 0,22	y = -0,47x + 58,9 / r² = 0,07	y = -0,67x + 85,7 / r² = 0,36	y = -0,82x + 70,5 / r² = 0,17	y = -0,38x + 82,2 / r² = 0,20	y = -0,29x + 63,3 / r² = 0,05	y = -0,33x + 68,9 / r² = 0,13	y = -0,54x + 94,6 / r² = 0,34	y = -0,53x + 75,7 / r² = 0,16	y = -0,53x + 83,5 / r² = 0,29	y = -0,26x + 71,9 / r² = 0,02	y = -0,60x + 89,0 / r² = 0,24	y = -0,32x + 92,7 / r² = 0,13	
Двухъярусный / Two-tier	y = -0,32x + 90,4 / r² = 0,30	y = -0,49x + 86,5 / r² = 0,38	y = -0,28x + 70,1 / r² = 0,04	y = -0,59x + 99,5 / r² = 0,54	y = -0,21x + 84,2 / r² = 0,05	y = -0,23x + 87,9 / r² = 0,19	y = -0,17x + 75,3 / r² = 0,05	y = -0,22x + 79,9 / r² = 0,16	y = -0,58x + 114,1 / r² = 0,48	y = -0,53x + 92,2 / r² = 0,22	y = -0,52x + 101,0 / r² = 0,39	y = -0,25x + 87,0 / r² = 0,02	y = -0,70x + 108,5 / r² = 0,34	y = -0,61x + 119,5 / r² = 0,41	

Примечания: y – УГВ; x – сумма осадков; r² – коэффициент детерминации / Notes: y – the groundwater level; x – the amount of precipitation; r² – the coefficient of determination

Таблица 3 – **Зависимость УГВ на опытных конструкциях открытого дренажа от суммы осадков /**
Table 3 – **Dependence of the UGV on experimental designs of open drainage on the amount of precipitation**

Вариант / Variant	*УГВ / Groundwater level for the period*														*1 декада июня / 1 decade of june*
	май / may	*Сумма осадков / Precipitation for the period*													
		май / may	*1 декада мая / 1 decade of may*			*2 декада мая / 2 decade of may*				*3 декада мая / 3 decade of may*					
			апрель / april	*1 декада мая / 1 decade of may*	*апрель + 1 декада мая / april + 1 decade of may*	*1 декада мая / 1 decade of may*	*3 декада апреля + 1 декада мая / 3 decade of april + 1 decade of may*	*2 декада мая / 2 decade of may*	*1+2 декада мая / 1+2 decade of may*	*май / may*	*2 декада мая / 2 decade of may*	*1+2 декада мая / 1+2 decade of may*	*3 декада мая / 3 decade of may*	*2+3 декада мая / 2+3 decade of may*	*май / may*
Каналы (контроль) / Channels (control)	y = -0,1x + 37,8 / r^2 = 0,04	y = -0,16x + 31,5 / r^2 = 0,05	y = -0,31x + 31,7 / r^2 = 0,15	y = -0,26x + 38,9 / r^2 = 0,20	y = -0,08x + 33,3 / r^2 = 0,01	y = -0,10x + 36,3 / r^2 = 0,03	y = -0,08x + 33,3 / r^2 = 0,01	y = -0,13x + 36,5 / r^2 = 0,08	y = -0,27x + 55,2 / r^2 = 0,18	y = -0,30x + 45,2 / r^2 = 0,11	y = -0,32x + 50,9 / r^2 = 0,24	y = 0,16x + 36,4 / r^2 = 0,02	y = -0,21x + 47,8 / r^2 = 0,05	y = -0,28x + 60,5 / r^2 = 0,15
Ложбины / Hollows	y = -0,20x + 60,2 / r^2 = 0,09	y = -0,07x + 47,5 / r^2 = 0,02	y = -0,41x + 50,0 / r^2 = 0,16	y = -0,38x + 62,8 / r^2 = 0,30	y = -0,78x + 64,8 / r^2 = 0,27	y = -0,18x + 61,3 / r^2 = 0,05	y = -0,12x + 55,0 / r^2 = 0,01	y = -0,25x + 60,9 / r^2 = 0,11	y = -0,39x + 81,2 / r^2 = 0,21	y = -0,35x + 67,3 / r^2 = 0,07	y = -0,43x + 75,1 / r^2 = 0,23	y = 0,02x + 61,0 / r^2 = 0,01	y = -0,43x + 75,1 / r^2 = 0,23	y = -0,38x + 86,9 / r^2 = 0,16
Ложбины с трубчатым дренажем / Hollows with tubular drainage	y = -0,18x + 63,5 / r^2 = 0,05	y = -0,31x + 57,2 / r^2 = 0,09	y = -0,29x + 50,5 / r^2 = 0,04	y = -0,38x + 65,3 / r^2 = 0,16	y = -0,69x + 65,6 / r^2 = 0,15	y = -0,21x + 65,7 / r^2 = 0,06	y = 0,05x + 55,2 / r^2 = 0,01	y = -0,17x + 60,8 / r^2 = 0,03	y = -0,39x + 82,9 / r^2 = 0,15	y = -0,25x + 67,7 / r^2 = 0,03	y = -0,40x + 75,7 / r^2 = 0,14	y = -0,15x + 66,7 / r^2 = 0,01	y = -0,28x + 73,7 / r^2 = 0,04	y = -0,40x + 88,9 / r^2 = 0,13
Ложбины с бесполостным дренажем / Hollows with hollow drainage	y = -0,14x + 56,2 / r^2 = 0,05	y = -0,29x + 50,9 / r^2 = 0,14	y = -0,21x + 44,2 / r^2 = 0,04	y = -0,33x + 56,7 / r^2 = 0,22	y = -0,47x + 56,6 / r^2 = 0,11	y = -0,24x + 60,8 / r^2 = 0,11	y = -0,06x + 51,2 / r^2 = 0,01	y = -0,15x + 54,6 / r^2 = 0,04	y = -0,27x + 72,0 / r^2 = 0,10	y = -0,20x + 61,7 / r^2 = 0,02	y = -0,30x + 67,7 / r^2 = 0,11	y = -0,02x + 58,8 / r^2 = 0,01	y = -0,17x + 64,5 / r^2 = 0,02	y = -0,34x + 81,0 / r^2 = 0,11

Тесная зависимость между параметрами получена только в варианте двухъярусного дренажа между УГВ в первой декаде мая и суммой осадков за апрель и первую декаду мая (r^2 = 0,54). В этот же период наиболее тесную связь (r^2 = 0,36) наблюдали в варианте стандартного дренажа с засыпкой дренажной траншеи ПГС. В вариантах мелкого дренажа и среднезаглубленного с засыпкой древесной щепой наиболее тесная связь средней значимости (r^2 = 0,41 и 0,28 соответственно) отмечена между УГВ третьей декады мая и осадками за май. Во всех вариантах закрытых дренажных систем отсутствовала связь между УГВ во второй и третьей декадах мая с осадками за эти же периоды. То же наблюдали с УГВ в вариантах со среднезаглубленным дренажом в первой декаде мая, что вероятно связано с запаздыванием подъема УГВ после выпадения осадков.

Анализ данных таблицы 2 показал, что уровни грунтовых вод, формирующиеся на опытных конструкциях закрытого дренажа, имеют тренд на снижение в зависимости от уменьшения количества осадков в мае. Наиболее тесная зависимость во всех вариантах выявлена между УГВ третьей декады мая и осадками за май (r^2 = 0,28…0,48). При увеличении майских осадков на 1 мм УГВ в третьей декаде мая поднимается на 0,3 см в варианте с засыпкой щепой и на 0,6 см – в вариантах мелкого и двухъярусного дренажа. Таким образом, можно утверждать, что конструкция закрытого дренажа с засыпкой дренажной траншеи древесной щепой более эффективно отводит избыточную влагу, т. к. грунтовые воды при выпадении осадков поднимаются медленнее в два раза по сравнению с другими вариантами конструкций.

На всех вариантах ложбин стока выявилась наиболее тесная зависимость УГВ первой декады мая с суммой осадков за апрель и первую декаду мая (r^2 = 0,16…0,30), в контроле – между УГВ третьей декады мая и осадками за предыдущие 2 декады (r^2 = 0,24) (табл. 3). Теснота связи между уровнями грунтовых вод и количеством выпавших осадков в вариантах открытого дренажа менее тесная по сравнению с вариантами закрытого. В среднем в первой декаде мая в вариантах с открытым дренажем при выпадении 1 мм осадков УГВ поднимается на 0,3-0,4 см, на системах закрытого дренажа – мелкого и стандартного с засыпкой древесной щепой – на 0,4 мм, в вариантах с засыпкой ПГС и двухъярусном – на 0,6-0,7 см.

Заключение. Результаты 30-летних наблюдений за уровнями грунтовых вод на осушительных системах открытого и закрытого дренажа в погодно-климатических условиях Новгородской области показали:

- среднесезонный УГВ, формируемый системами закрытого дренажа, на 18 см ниже по сравнению с системами открытого дренажа;
- наиболее благоприятный режим грунтовых вод формируют осушительные системы двухъярусного дренажа.

Выявлены следующие зависимости УГВ от количества выпавших осадков:

- теснота связи между уровнями грунтовых вод и количеством выпавших осадков в вариантах открытого дренажа менее тесная по сравнению с вариантами закрытого дренажа;
- на системах закрытого дренажа более тесную связь наблюдали между УГВ третьей декады мая и осадками за май: при увеличении осадков на 1 мм УГВ поднимается на 0,3 см в варианте с засыпкой щепой и на 0,6 см – в вариантах мелкого и двухъярусного дренажа;
- на системах открытого дренажа более тесная связь отмечена между УГВ первой декады мая и суммой осадков за апрель и первую декаду мая: при выпадении 1 мм осадков УГВ поднимается на 0,3-0,4 см.

Список литературы

1. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020;613:012011. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012011

2. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S., Kumar R., Deng J., Roccaro P., Mays L., Grismer M. E., Angelakis A. N. The Evolution of Agrucultural Drainage from the Earliest Times to the Present. Sustainability. 2020;12(1):416. DOI: https://doi.org/10.3390/su12010416

3. Иванов А. И., Гулюк Г. Г., Янко Ю. Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье. Мелиорация и водное хозяйство. 2020;(3):5-12.

4. Котова З. П., Дубина-Чехович Л. С. Состояние и использование мелиорируемых земель сельскохозяйственного назначения в республике Карелия. Агрофизика. 2013;2(10):34-37.

5. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Анциферова О. Н., Первушина Н. К. Влияние осушения, удобрений и погодных условий на урожай яровой пшеницы. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020;(6):63-67. DOI: https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16116 EDN: FKMJEP

6. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К., Лапушкина В. Н. Воздействие осушения и удобрений на урожайность озимой тритикале. Земледелие. 2019;(4):22-24.
DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10405 EDN: BRJRSJ

7. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К. Влияние осушения и применения минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(3):70-74.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.70-74 EDN: USMKLX

8. Balun O. V. Drainage system construction influence on the groundwater level of reclaimed soils. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021. 2021;852:012010.
DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012011

9. Устинов М. Т., Глистин М. В. Критический уровень грунтовых вод как критерий эколого-мелиоративного состояния почв. Мелиорация и водное хозяйство. 2018;(3):14-16.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35357556 EDN: XUZOPZ

10. Моторин А. С. Особенности режима осушения длительно сезонно-мерзлотных торфяных почв Западной Сибири. Мелиорация и водное хозяйство. 2019;(1):32-36.

11. Zhi Yang, Wenping Li, Xiaoqin Li, Jianghui He. Quantitative analysis of the relationship between vegetation and groundwater buried depth: A case study of a coal mine district in Western China. Ecological Indicators. 2019;102:770-782. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.027

12. Зинковская Т. С., Ковалёв Н. Г., Зинковский В. И. Оптимизация водного режима почвы при возделывании картофеля на осушаемых землях. Мелиорация и водное хозяйство. 2016;(1):40-44.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460455 EDN: WHAWWB

13. Спирин Ю. А. Улучшение мелиоративного состояния осушаемых сельскохозяйственных земель польдерного массива в Славском районе Калининградской области. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019;(1(33)):39-54. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37057156 EDN: VVQTYP

14. Дятел А. А. Эколого-мелиоративное состояние осушаемых земель в районе воздействия карьера «Хотиславский». Мелиорация. 2017;(1):31-38.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29450099 EDN: YULWJD

15. Hein A., Condon L., Maxwell R. Evaluating the relative importance of precipitation, temperature and land-cover change in the hydrologic response to extreme meteorological drought conditions over the North American High Plains. Environmental Science. Hydrology and Earth System Sciences. 2019;23(4):1931-1950.
DOI: https://doi.org/10.5194/HESS-23-1931-2019

References

1. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020;613:012011. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012011

2. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S., Kumar R., Deng J., Roccaro P., Mays L., Grismer M. E., Angelakis A. N. The Evolution of Agrucultural Drainage from the Earliest Times to the Present. Sustainability. 2020;12(1):416. DOI: https://doi.org/10.3390/su12010416

3. Ivanov A. I., Gulyuk G. G., Yanko Yu. G. Relevant issues of land reclamation development in Non-black earth area. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2020;(3):5-12. (In Russ.).

4. Kotova Z. P., Dubina-Chekhovich L. S. Condition and exploitation of agricultural reclaimed land in the republic of Karelia. *Agrofizika* = Agrophysica. 2013;2(10):34-37. (In Russ.).

5. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N., Pervushina N. K. Influence of drainage, fertilization and weather conditions on the harvest of spring wheat. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(6):63-67. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16116

6. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K., Lapushkina V. N. Influence of drainage and fertilizers on yield of winter triticale. *Zemledelie*. 2019;(4):22-24. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10405

7. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. Effect of drainage and application of mineral fertilizers on the yield of spring wheat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(3):70-74. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.70-74

8. Balun O. V. Drainage system construction influence on the groundwater level of reclaimed soils. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021. 2021;852:012010.
DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012011

9. Ustinov M. T., Glistin M. V. Critical level of groundwater as a criterioncritical level of groundwater as a criterion ecological-meliorative state of soils. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2018;(3):14-16. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35357556

10. Motorin A. S. Features of the regime of drainage of longterm seasonally permafrost peat soils of Western Siberia. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2019;(1):32-36.

11. Zhi Yang, Wenping Li, Xiaoqin Li, Jianghui He. Quantitative analysis of the relationship between vegetation and groundwater buried depth: A case study of a coal mine district in Western China. Ecological Indicators. 2019;102:770-782. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.027

12. Zinkovskaya T. S., Kovalev N. G., Zinkovskiy V. I. Optimization of soil water regime in potato growing on drained lands. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2016;(1):40-44. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460455

13. Spirin Yu. A. Improvement of the reclamation condition of drained agricultural lands of the polder massif in Slavskiy district Kaliningrad region. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2019;(1(33)):39-54. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37057156

14. Dyatel A. A. Ecological reclamation state of drain areas on territory of the mine «Khotislavsky». *Melioratsiya* = Land reclamation. 2017;(1):31-38. (In Belarus). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29450099

15. Hein A., Condon L., Maxwell R. Evaluating the relative importance of precipitation, temperature and land-cover change in the hydrologic response to extreme meteorological drought conditions over the North American High Plains. Environmental Science. Hydrology and Earth System Sciences. 2019;23(4):1931-1950. DOI: https://doi.org/10.5194/HESS-23-1931-2019

Сведения об авторах

✉ **Балун Ольга Васильевна**, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8476-0792**, e-mail: bov0001@mail.ru

Шкодина Елена Петровна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4057-9910**

Яковлева Валентина Александровна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0349-8185**

Жукова Светлана Юрьевна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8034-2489**

Information about the authors

✉ **Olga V. Balun**, **PhD in Engineering**, associate professor, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8476-0792**, e-mail: bov0001@mail.ru

Elena P. Shkodina, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4057-9910**

Valentina A. Yakovleva, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0349-8185**

Svetlana Yu. Zhukova, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Park, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8034-2489**

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ / FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.267-275
УДК 633.367.2:631.559:631.529(470.342)

(cc) BY

Оценка сортов люпина узколистного по урожайности и адаптивности в условиях Кировской области

© 2023. А. П. Кислицына ✉, Ф. А. Попов, Е. В. Светлакова, А. Ю. Софронова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты сравнительного изучения зерновой продуктивности 7 сортов люпина узколистного (Lupinus angustifolius L.) селекции Всероссийского НИИ люпина в условиях Кировской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установлено, что урожайность семян сортов люпина узколистного в зависимости от погодных условий различалась по годам возделывания (2020-2022 гг.) в 1,5-2,0 раза. В среднем за 3 года наиболее урожайными были сорта Брянский кормовой и Сидерат 46 – 287 и 281 г/м^2 соответственно. Даже в крайне неблагоприятном для люпина узколистного 2022 году (при индексе условий среды, равном -62) эти сорта существенно превосходили по урожайности контроль (сорт Витязь – 135,8 г/м^2) на 72,9 и 61,1 %. Коэффициент адаптивности сортов Сидерат 46, Смена, Узколистный 53, Брянский кормовой – более 100 %. Элементы структуры продуктивности люпина узколистного (количество бобов на растении, число зёрен в бобе и масса 1000 семян) зависели от гидротермических условий вегетационного периода. В благоприятных условиях увеличивалось количество бобов на растении и крупность семян. Наиболее стабильный показатель – озерненность боба. Средняя продолжительность вегетационного периода у сортов люпина составляла 84…91 сутки, в жаркую и сухую погоду 2022 года созревание наступало на 5…7 суток раньше среднемноголетних сроков. Более продолжительным период вегетации отмечен у сортов с сильно выраженным боковым ветвлением: Брянский кормовой, Узколистный 53 и Витязь. Содержание сырого протеина в семенах люпина в благоприятный по гидротермическим условиям год достигало 30,8…36,5 %, в неблагоприятные годы – снижалось на 20-45 % в зависимости от сорта.

Ключевые слова: *фазы вегетации, сухое вещество, масса 1000 семян, структура урожая, скороспелость, сырой протеин*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема № 1021060407720-0).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кислицына А. П., Попов Ф. А., Светлакова Е. В., Софронова А. Ю. Оценка сортов люпина узколистного по урожайности и адаптивности в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):267-275. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.267-275

Поступила: 25.01.2023 Принята к публикации: 13.03.2022 Опубликована онлайн: 25.04.2023

The assessment of blue lupine varieties according to productivity and adaptability in the conditions of Kirov region

© 2023. Antonida P. Kislitsyna ✉, Fyodor A. Popov, Elena V. Svetlakova, Angelina Yu. Sofronova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article provides the results of the comparative study of grain productivity of 7 blue lupine (Lupinus angustifolius L.) varieties bred by the All-Russian Scientific Research Institute of Lupine in the conditions of Kirov region on sod-podzolic light loamy soil. It has been established that the yield of the seeds of blue lupine varied 1.5-2 times over the years of cultivation (2000-2022) depending on the weather conditions. Over 3 years on the average the varieties Bryansky kormovoy and Siderat were the most productive, 46-287 and 281 g/m^2, respectively. Even in extremely unfavorable for blue lupine 2022 (by environment condition index of 62) these varieties significantly exceeded the control (Vitayz – 135.8 g/m^2) in yield, by 72.9 and 61.1 %. The coefficient of adaptability of the varieties Siderat 46, Smena, Uzkolistny 53, Bryansky kormovoy was over 100 %. The productivity structure elements of blue lupine, namely: the number of beans per plant, the number of grains per bean and mass of 1000 seeds depended on hydrothermal conditions of the growing period. Under favorable conditions the number of beans per plant and the size of seeds increased. The number of grains per bean was the most stable indicator. The average duration of the growing period of lupine varieties was 84-91 days. In hot and dry weather of 2022 the ripening began 5-7 days earlier than long-time average annual periods. The varieties with highly developed side branching had a longer

growing period – Bryansky kormovoy, Uzkolistny 53 and. Vitayz. During the year favorable by hydrothermal conditions the raw protein content in lupine seeds was 30.8-36.5 %. In unfavorable years it decreased by 20-45 % depending on the variety.

Keywords: *phases of vegetation, dry matter, mass of 1000 seeds, yield structure, early ripening, raw protein*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 1021060407720-0).

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

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

For citation: Kislitsyna A. P., Popov F. A., Svetlakova E. V., Sofronova A. Y. The assessment of blue lupine varieties according to productivity and adaptability in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):267-275. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.267-275

Received: 25.01.2023 Accepted for publication: 13.03.2023 Published online: 25.04.2023

Одной из важнейших проблем современного сельскохозяйственного производства Северо-Восточного региона европейской части России, в том числе и Кировской области, по-прежнему остаётся дефицит растительного белка. Для решения этого вопроса необходимо расширение площадей высокобелковых зерновых бобовых культур, а также их ассортимента. В связи с этим большой интерес представляет люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.), который имеет короткий вегетационный период (80…110 дней), не требователен к плодородию почвы, характеризуется высоким содержанием белка [1, 2]. По содержанию сырого протеина люпин выгодно отличается от других бобовых и злаковых кормовых культур. В одном килограмме его семян протеина в три раза больше, чем в зерне злаковых культур и в полтора раза больше, чем у гороха. В зависимости от экотипа и почвенно-климатических условий содержание сырого протеина в зерне варьирует от 30,0 до 38,0 % в сухом веществе, в зеленой массе – от 16,0 до 20,0 % [1, 2, 3]. Белок люпина отличается высоким качеством, сбалансирован по аминокислотному составу, обладает хорошей усвояемостью, так как в нем нет таких антипитательных веществ, как ингибиторы трипсина и химотрипсина. Современные сорта малоалкалоидны [3, 4]. Кроме кормовых достоинств, люпин обладает высокой азотфиксирующей способностью и характеризуется практически полным симбиотрофным азотным питанием. В зависимости от почвенно-климатических условий люпин способен аккумулировать в биомассе от 150 до 300 кг/га симбиотического азота и усваивать из труднодоступных слоев почвы фосфор и калий [2, 4, 5]. В результате его способности формировать эффективный симбиоз с клубеньковыми бактериями культура люпина представляет интерес как фактор биологической интенсификации продуктивности растениеводства, способствует повышению плодородия почвы и продуктивности последующих культур в севообороте, что позволяет снижать затраты энергетических ресурсов [6, 7, 8]. Ценность культуры заключается в многофункциональности её использования. Люпин может использоваться как кормовая, сидеральная и пищевая культура [3, 9].

При благоприятных почвенно-климатических условиях люпин способен формировать урожайность семян на уровне 3-4 т/га.

Однако урожайность семян люпина не устойчива, что сдерживает расширение его посевов. Главной причиной является высокая чувствительность к изменениям гидротермических условий выращивания [8, 10]. Для стабильной урожайности зерна необходимы среднесуточные температуры воздуха 15-17 °С, сумма осадков в период «всходы-созревание» не менее 200-250 мм. Устойчивое семеноводство люпина узколистного возможно в регионах с суммой активных температур за вегетационный период 1600…1800 °С [4, 10].

Современные сорта узколистного люпина имеют довольно высокий потенциал продуктивности и благодаря скороспелости их можно выращивать в различных регионах Российской Федерации, в том числе и в районах с коротким вегетационным периодом [2, 4, 11]. Продуктивный потенциал сортов может быть успешно реализован, когда они обладают широким диапазоном реакции на изменяющиеся экологические факторы. При этом с ухудшением почвенно-климатических условий значение экологической устойчивости должно возрастать [4, 12, 13]. Эффективность люпиносеяния в конкретных условиях выращивания во многом будет зависеть от сортового ассортимента [12, 14].

В связи с вышеизложенным, выявление наиболее адаптивных сортов к почвенно-климатическим условиям Кировской области, несомненно, является актуальной темой исследований.

Цель исследования – выявить наиболее перспективные по урожайности, адаптивному потенциалу, продолжительности вегетационного периода, содержанию сырого протеина сорта люпина узколистного в условиях центральной зоны Кировской области.

Новизна исследований заключается в агробиологической оценке сортов люпина узколистного, возделываемого на кислых дерново-подзолистых почвах, по адаптивности и комплексу хозяйственно-биологических признаков в зависимости от погодных условий.

Материал и методы. Исследования проводили в 2020-2022 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Объекты исследования – сорта люпина узколистного селекции Всероссийского НИИ люпина: универсального назначения (Смена, Белозерный 110, Брянский кормовой, Витязь, Узколистный 53), зернового (Надежда) и сидерального (Сидерат 46). За контроль принят сорт Витязь, районированный по Волго-Вятскому региону в 2011 году.

Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая с невысоким содержанием гумуса (1,29 %), среднекислой реакцией почвенного раствора ($pH_{сол.}$ 4,3-4,7), повышенной обеспеченностью подвижным фосфором (131,3 мг/кг) и средней обменным калием (107,5 мг/кг).

Площадь учётной делянки 1,5 м^2, размещение делянок рендомизированное. Предшественник – чистый пар. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения: 1 ц/га аммиачной селитры (34 % д. в.), 1 ц/га двойного суперфосфата (42 % д. в.), 1 ц/га хлористого калия 56 % д. в.). Семена перед посевом обрабатывали препаратом симбиотических клубеньковых бактерий *Rhisobium lupine*, произведенным на кафедре ботаники и микробиологии Вятского ГАТУ. Посев узкорядный, проведён вручную в первой пятидневке второй декады мая. Норма высева семян для сортов ветвистого морфотипа – 1,3 млн всхожих зерен на гектар, 2 млн – для сорта Надежда колосовидного морфотипа.

При закладке опытов и проведении исследований руководствовались методикой полевого опыта с кормовыми культурами[1].

Определение и анализ адаптивного потенциала сортов по показателю «урожайность зерна» проводили по методике Л. А. Животкова с соавт.[2] В данной методике за критерий для сравнения берётся общая видовая адаптивная реакция культуры на конкретные условия вегетации, представленная значениями среднесортовой урожйности. Полученная величина (индекс условий года) является показателем нормы реакции определённой совокупности сортов на факторы внешней среды в каждом конкретном году. Реакцию сорта можно определить при сравнении его урожайности со среднесортовой. При анализе продуктивного и адаптивного потенциалов сортов по варьированию их урожайности используется понятие среднесортовая урожайность года, которая принимается за 100 % (критерий нормы). Затем рассчитывается отношение урожайности каждого из испытываемых сортов к среднесортовой и определяется коэффициент адаптивности. Перевод абсолютных величин урожайности в проценты позволяет сравнить поведение сортов в разные годы. По этому показателю можно судить об адаптивности и продуктивных возможностях сортов люпина [9, 10].

Лабораторные исследования проведены в аналитической лаборатории ФАНЦ Северо-Востока с использованием общепринятых методик. Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову[3] с использованием пакета программ AGROS, версия 2.07.

Результаты и их обсуждение. Метеоусловия в годы исследований резко различались по температурному режиму, количеству осадков и их распределению в течение летнего периода, что позволило оценить реакцию сортов на погодные условия.

2020 год отличался тёплой и влажной погодой в мае, сухими и влажными периодами в летние месяцы, недостаточным температурным режимом в июне и августе. Особенно неблагоприятные условия для растений люпина наблюдались в межфазный период «бутонизация-цветение» (ГТК этого периода составил 0,62).

[1]Методические указания по проведению опытов с кормовыми культурами. М., 1997. 156 с.
[2]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. URL: https://istina.msu.ru/publications/article/2314139/
[3]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

В 2021 году сумма эффективных температур превышала климатическую норму более чем на 200 °С и достигла к моменту уборки люпина 1580,5 °С. В мае превышение показателей среднемесячной температуры составило 3,8 °С, в июне – 3,4 °С, в июле – 0,6 °С, в августе – 3,6 °С. Сумма осадков за период вегетации люпина составила 251 мм (табл. 1), ГТК вегетационного периода – 1,14.

Таблица 1 – **Метеоусловия в период проведения опыта (метеостанция г. Киров) /**
Table 1 – **Weather conditions during the experiment (meteorological station, Kirov)**

Месяц / Month	*Осадки, мм / Precipitation, mm*				*Средняя температура воздуха, °С / Average air temperature, °С*				*Сумма эффективных температур выше 5 °С / Sum of effective temperatures >5 °С*		
	2020 г.	*2021 г.*	*2022 г.*	*среднее многолетнее / long-term average annual*	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*среднее многолетнее / long-term average annual*	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*
Май / May	89	57	53	54	12,1	15,0	8,5	11,2	226,5	320,4	143,9
Июнь / June	40	63	117	79	15,3	19,9	16,0	16,5	535,0	767,3	454,4
Июль / July	100	94	54	76	20,6	19,2	19,9	18,6	1016,0	1207,2	938,9
Август / August	61	37	18	77	15,1	18,8	20,0	15,2	1327,9	1634,8	1402,1

Вегетационный период 2022 года отличался крайне контрастными метеорологическими условиями. Май был на 2,7 °С холоднее обычного. Июнь – умеренно тёплый, осадков выпало 148 % от климатической нормы, и они имели ливневый характер, что привело к уплотнению почвы и оказало негативное воздействие на азотфиксирующую способность люпина узколистного. Июль характеризовался как засушливый (ГТК = 0,87). В течение августа наблюдалась аномально жаркая погода и атмосферная засуха (ГТК = 0,29). За период «май-август» выпало 242 мм осадков.

В зависимости от погодных условий года изменялась продолжительность вегетационного периода люпина узколистного, различия по годам у сортов составляли от 5 до 11 суток (табл. 2). В засушливых условиях ускорялись процессы созревания, и вегетационный период люпина узколистного сокращался. Самый короткий отмечен в 2022 году (81-86 день), все сорта достигали полной спелости с разницей от 1 до 5 суток, в 2020 году – от 6 до 10, в 2021 году – от 2 до 8 суток.

Таблица 2 – **Продолжительность вегетационного периода сортов люпина узколистного, сутки /**
Table 2 – **The duration of the vegetation period of blue lupine varieties, days**

Сорт / Variety	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*Среднее/ Average*
Витязь (контроль) / Vityaz (control)	97	92	86	91
Смена / Smena	97	88	81	89
Сидерат 46 / Siderate 46	87	85	81	84
Белозерный 110 / Belozerny 110	93	90	85	86
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	97	91	86	91
Надежда / Nadezhda	88	84	81	84
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	97	92	86	91

Таким образом, продолжительность вегетационного периода изучаемых сортов люпина узколистного была соизмерима с поздними сортами яровых зерновых культур. В среднем за три года она составила от 84 до 91 суток. Более скороспелыми отмечены сорта Надежда и Сидерат 46, которые созревали на 7 суток раньше контроля, Брянский кормовой, Узколистный 53 – одновременно с контрольным сортом Витязь.

Особенно наглядно действие повышенных температур на развитие люпина узколистного проявилось в 2022 году. В условиях засухи у люпина снижалась интенсивность бокового ветвления, что обуславливало меньшее накопление вегетативной массы, бóльшая часть бобов и семян формировалась на центральной кисти. Также в этих условиях встречались растения с бобами без семян (усохшие бобы), так как не все семяпочки развились в полноценные семена. Недостаток влаги и высокие температуры способствовали сбрасыванию листвы растениями в период формирования семян и усыханию растений, что привело к резкому снижению урожайности и белковости семян.

Урожайность семян была очень низкой – от 123 до 235 г/м^2 (табл. 3). Сильнее всего среагировали на неблагоприятные условия сорта люпина Витязь и Надежда, которые имели самую низкую урожайность (136 и 123 г/м^2).

Таблица 3 – **Урожайность семян сортов люпина узколистного по годам исследований, г/м^2 /**
Table 3 – **Productivity of blue lupine seeds by the years of the research, g/m^2**

Сорт / Variety	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*Среднее / Average*	*Коэффициент адаптивности, % / Adaptivity coefficient, %*
Витязь (контроль) / Vityaz (control)	188	302	136	209	88,7
Смена / Smena	208	333	167	236	100, 4
Сидерат 46 / Siderate 46	229	379	235	281	119,5
Белозерный 110 / Belozerny 110	183	375	160	239	101,8
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	230	413	219	287	122,2
Надежда / Nadezhda	138	175	123	145	61,8
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	190	384	172	249	105,7
Среднесортовая урожайность / The average variety yield	195	337	173	235	-
$НСР_{05}$ / LSD_{05}	40,6	93,4	58,7	64,5	-
Индекс условий года (I_j) / The season conditions index	-40	102	-62	-	-

Как отмечают [14, 15], люпин узколистный, как и другие зернобобовые культуры, по сравнению с зерновыми сильнее подвержен влиянию неблагоприятных факторов, что ограничивает его потенциальный урожай и обуславливает нестабильность урожайности бобовых. Особенно важны для них погодные условия в начальный период вегетации и в период «бутонизация-формирование семян», при этом неблагоприятен как недостаток осадков, так и их избыток. Превышение необходимой суммы положительных температур в эти фазы также уменьшает количество и степень развития репродуктивных органов.

По данным Головиной и Беляевой [16], в неблагоприятных погодных условиях (неравномерное распределение осадков, перепады температуры, избыточная влажность и недостаток тепла) симбиотическая деятельность люпина снижается в среднем на 60 %, урожайность надземной массы – на 50 %, семян – на 54 %.

Максимальную урожайность семян получили в 2021 году, который был наиболее благоприятным для реализации потенциала зерновой продуктивности всех изучаемых сортов люпина узколистного.

Определение индекса условий года (табл. 3), который оценивает агроклиматическое влияние на реализацию потенциала продуктивности всего набора сортов в конкретном году [10], подтвердило, что этот показатель (I_j = 102) характеризует 2021 г. как более благоприятный по сравнению с 2020 г. (I_j = -40) и 2022 г. (I_j = -62).

По зерновой продуктивности за годы исследований сорт Брянский кормовой и Сидерат 46 достоверно превосходили контроль (сорт Витязь) и среднесортовую урожайность.

Важным показателем генетической характеристики сортов, который определяет потенциал их продуктивности в различных условиях внешней среды, является экологическая пластичность. Для количественного выражения экологической пластичности чаще всего используется определение коэффициента адаптивности, и если он превышает 100 %, то такой сорт считается потенциально продуктивным.

Анализ адаптивного потенциала сортов люпина по показателю «урожайность» выявил, что сорта Брянский кормовой и Сидерат 46 имели наиболее высокий коэффициент адаптивности – 122,2 и 119,5 % соответственно, сорта Узколистный 53, Белозерный 110 и Смена – более 100 %, что свидетельствует об их экологической пластичности и потенциальной продуктивности.

Неоднородность погодных условий вегетации отразилась на показателях структуры зерновой продуктивности люпина. При жаркой и сухой погоде в период цветения количество продуктивных бобов на растениях резко снижалось. Особенно низким этот показатель отмечен в 2022 году (табл. 4).

Таблица 4 – **Структура зерновой продуктивности сортов люпина узколистного /**
Table 4 – **Grain productivity structure of blue lupine varieties**

Сорт / Variety	*Продуктивных бобов, шт/растение / Productive beans, pcs/plants*				*Число семян в бобе, шт. (среднее за 3 года) / Number of seeds per bean, pcs. (average for 3 years)*
	2020 г.	*2021 г.*	*2022 г.*	*среднее / average*	
Витязь (контроль) / Vityaz (control)	3,7	7,5	2,4	4,5	2,9
Смена / Smena	3,3	5,0	2,9	3,7	3,5
Сидерат 46 / Siderate 46	3,6	6,0	3,8	4,5	3,7
Белозерный 110 / Belozerny 110	4,0	6,7	2,5	4,4	3,3
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	4,3	9,0	2,9	5,4	3,0
Надежда / Nadezhda	3,9	3,4	1,7	3,0	2,4
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	3,5	4,9	2,3	3,6	3,4
Среднее / Average	3,8	6,0	2,6	4,2	3,2

Количество семян в плоде в более благоприятный 2021 год у всех сортов люпина получено меньше. В зависимости от сорта, в среднем за годы исследований, в бобе сформировалось от 2,4 до 3,7 штук. Лучшая озернённость боба отмечена у сортов люпина узколистного Смена, Сидерат 46 (табл. 4), число семян в бобе ежегодно превышало среднесортовые показатели.

Масса 1000 семян у всех сортов люпина также варьировала по годам изучения (табл. 5).

Таблица 5 – **Масса 1000 семян сортов люпина узколистного по годам исследований, г /**
Table 5 – **Mass of 1000 seeds of blue lupine varieties by the years of the research, g**

Сорт / Variety	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*Среднее/ Average*
Витязь (контроль) / Vityaz (control)	100,0	161,1	109,8	123,6
Смена / Smena	94,7	162,7	112,2	123,2
Сидерат 46 / Siderate 46	95,0	126,0	95,8	109,3
Белозерный 110 / Belozerny 110	90,5	158,0	95,9	114,8
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	125,0	169,5	142,6	145,7
Надежда / Nadezhda	87,0	136,6	108,4	111,5
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	95,0	158,0	105,5	112,2
Среднее / Average	98,2	153,1	110,0	120,0

Более крупными и выполненными получены семена в 2021 году при большем количестве плодов на растении, но меньшем числе в бобе.

Особенно мелкие семена сформировались у всех сортов люпина узколистного в 2020 году, когда после жаркой и сухой погоды в фазу «цветение» образование зерна проходило в условиях дождливой погоды, а созревание при прохладной и сухой погоде августа.

Расчеты показали, что при одинаковом числе растений семенная продуктивность изучаемых сортов люпина на 57 % была обуслов-

лена крупностью семян ($r^2 = 0,57$) и на 67 % – числом бобов на одном растении ($r^2 = 0,67$).

Содержание сырого протеина в семенах люпина, как и урожайность, зависело от погодных условий вегетации (табл. 6). Лучшие показатели белковости у всех сортов люпина получены в более благоприятных условиях 2021 года.

Таблица 6 – **Содержание сырого протеина в семенах сортов люпина узколистного, % /**
Table 6 – **The content of raw protein in the seeds of blue lupine varieties, %**

Сорт/ Variety	*2020 г.*	*2021 г.*	*2022 г.*	*Среднее/ Average*
Витязь (контроль) / Vityaz (control)	22,09	33,93	25,11	27,04
Смена / Smena	20,88	36,54	20,14	25,85
Сидерат 46 / Siderate 46	18,88	31,58	23,11	24,52
Белозерный 110 / Belozerny 110	20,40	30,89	22,57	24,62
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	21,75	31,88	25,86	26,50
Надежда / Nadezhda	21,78	35,27	23,83	26,96
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	18,59	32,75	24,34	25,22
Среднее / Average	20,48	33,00	23,50	25,60

Очень низкое содержание белка в семенах люпина в 2020 году возможно связано с израстанием растений при тёплой и дождливой погоде в третьей декаде июля и первой пятидневке августа (ГТК = 3,2). Вероятно, избыток дождей в этот период вызвал перераспределение потоков пластических веществ, бóльшая часть которых идёт на поддержание функционирования фотосинтетического аппарата растений, но не на синтез белковых веществ[4, 5].

Как отмечают Л. Л. Яговенко с соавт. [8], складывающиеся гидротермические условия в период налива зерна (июль) очень существенны, и избыточное увлажнение в это время приводит к снижению белковости семян почти на 20 % относительно лет с сухим июлем. В наших условиях снижение содержания сырого протеина в зерне относительно благоприятного года, в зависимости от сорта, достигало 20-45 %. В среднем за 3 года высокое содержание сырого протеина отмечено у сортов Витязь (27,04 %), Надежда (26,96 %) и Брянский кормовой (26,50 %).

Максимальный сбор сырого протеина в среднем за три года обеспечил сорт Брянский кормовой – 76,05 г/м^2.

Заключение. Таким образом, урожайность семян всех изучаемых сортов люпина узколистного была нестабильной, и различалась по годам в 1,5-2,0 раза. Ежегодно более продуктивными отмечены сорта Брянский кормовой универсального использования и Сидерат 46 сидерального назначения, в среднем за три года урожайность семян составила 287 и 281 г/м^2 соответственно. Эти сорта обладали более высоким уровнем адаптивности (122,2 и 119,5 %) к почвенно-климатическим условиям региона.

Содержание сырого протеина в семенах люпина узколистного зависело от погодных условий вегетационного периода, при благоприятных гидротермических условиях содержание достигало 30,89…36,54 %, в неблагоприятных снижалось на 20-45 %. В среднем за 3 года более высокое содержание сырого протеина отмечено у сортов Витязь (27,04 %), Надежда (26,96 %) и Брянский кормовой (26,50 %). Максимальный сбор сырого протеина в среднем за три года обеспечил сорт Брянский кормовой – 76,05 г/м^2.

Средняя продолжительность вегетационного периода у изучаемых сортов люпина соизмерима с продолжительностью вегетации яровых зерновых культур и составила, в зависимости от сорта, в среднем за три года 84…91 сутки.

[4]Химия и биохимия растений. Пер. с англ. К. С. Спектрова: под. ред. М. Н. Запрометова. М.: Агропромиздат, 1986. 386 с.
[5]Овчаров К .Е. Физиология формирования и прорастания семян. М.: Колос, 1976. 255 с.

Список литературы

1. Такунов И. П., Слесарёва Т. Н., Лукашевич М. И., Агеева П. А., Якушева А. С., Руцкая В. И., Пимохова Л. И., Деркачев И. П., Мисникова Н. В., Новиков М. Н. Инновационный опыт производства кормового люпина. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 80 с.

2. Косолапов В. М., Фицев А. И., Гаганов А. П., Мамаева М. В. Горох, люпин, вика, бобы: оценка и использование в кормлении сельскохозяйственных животных. М.: Угрешская типография, 2009. 374 с.

3. Ведерникова Г. А., Коломейченко В. В. Кормовые достоинства и энергетическая оценка сортов люпина узколистного. Кормопроизводство. 2003;(6):31-32.

4. Косолапов В. М., Яговенко Г. Л., Лукашевич М. И., Агеева П. А., Новик Н. В., Мисникова Н. В., Слесарева Т. Н., Исаева Е. И., Пимохова Л. И., Яговенко Т. В., Такунов И. П. Люпин – селекция, возделывание, использование. Брянск: Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с.

5. Дебелый Г. А. Зернобобовые культуры в Нечернозёмной зоне РФ. М.: Немчиновка НИИСХ ЦРНЗ, 2009. 260 с.

6. Яговенко Г. Л., Белоус Н. М., Яговенко Л. Л. Люпин в земледелии Центрального региона России: влияние на агрохимические свойства серой лесной почвы и продуктивность севооборотов. Брянск: БГАУ, 2011. 183 с. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30556443 EDN: ZSRIKB

7. Исаева Е. И., Артюхов А. И. Разноротационные севообороты с люпином и соей и их эффективность в полевом кормопроизводстве. Кормопроизводство. 2012;(5):8-10.

8. Яговенко Л. Л., Мисникова Н. В., Яговенко Г. Л. Зависимость между метеоусловиями вегетационного периода и количеством и качеством урожая семян узколистного люпина в севооборотах. Кормопроизводство. 2012;(5):13-16.

9. Агеева П. А., Матюхин М. В., Почутина Н. А., Громова О. М. Результаты оценки сортов люпина узколистного по хозяйственно ценным признакам и адаптивности в условиях Брянской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;(5):15-17. DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/5/15-17 EDN: GWBRGL

10. Наумкин В. Н., Наумкин Л. А., Куренская О. Ю., Лукашевич М. И., Агеева П. А. Оценка сортов люпина по урожайности и качеству семян, адаптивности и устойчивости растений к засухе. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019;(1):132-141. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=37378400 EDN: XSUNBX

11. Агеева П. А., Почутина Н. А., Громова О. М., Зайцева Н. М. Люпин узколистный – результаты изучения сортов и сортообразцов по адаптивности и комплексу хозяйственно-биологических признаков. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):211-220. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.211-220 EDN: UJDUNL

12. Наумкин В. Н., Наумкина Л. А., Мещареков О. Д., Артюхов А. И., Лукашевич М. И, Агеева П. А. Результаты оценки образцов люпина в условиях Центрально-Черноземного региона. Кормопроизводство. 2011;(6):24-25.

13. Лукашевич М. И., Агеева П. А., Новак Н. В., Захарова М. В. Достижения и перспективы селекции люпина. Достижения науки и техники в АПК. 2018:32(2):29-32. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10207 EDN: YVJHAE

14. Агеева П. А., Почутина Н. А., Матюхина М. В. Люпин узколистный – источник ценных питательных веществ для использования в кормопроизводстве. Кормопроизводство. 2020;(10):29-32.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44576992 EDN: NBXRDL

15. Гатаулина Г. Г., Заренкова Н. В., Никитина С. С. Сорта сои северного экотипа: как погода влияет на рост, формирование урожая и его вариабельность. Кормопроизводство. 2019;(7):34-40.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39244825 EDN: KVHXOP

16. Головина Е. В., Беляева Р. В. Симбиотическая деятельность и формирование урожая люпина узколистного и сои в контрастных погодных условиях. Земледелие. 2022;(6):31-36. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-31-36 EDN: IMJLCL

References

1. Takunov I. P., Slesareva T. N., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Yakusheva A. S., Rutskaya V. I., Pimokhova L. I., Derkachev I. P., Misnikova N. V., Novikov M. N. Innovative experience in the production of feed lupine. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2012. 80 p.

2. Kosolapov V. M., Fitsev A. I., Gaganov A. P., Mamaeva M. V. Peas, lupin, vetch, beans: evaluation and use in feeding farm animals. Moscow: *Ugreshskaya tipografiya*, 2009. 373 p.

3. Vedernikova G. A., Kolomeychenko V. V. Fodder advantages and energy evaluation of varieties of blue lupine. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2003;(6):31-32. (In Russ.).

4. Kosolapov V. M., Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V., Slesareva T. N., Isaeva E. I., Pimokhova L. I., Yagovenko T. V., Takunov I. P. Lupin – breeding, cultivation, use. Bryansk: *Bryanskoe oblastnoe poligraficheskoe ob"edinenie*, 2020. 304 p.

5. Debelyy G. A. Leguminous crops in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Moscow: *Nemchinovka NIISKh TsRNZ*, 2009. 260 p.

6. Yagovenko G. L., Belous N. M., Yagovenko L. L. Lupin in agriculture of the Central region of Russia: influence on agrochemical properties of gray forest soil and crop rotation productivity. Bryansk: BGAU, 2011. 183 p.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30556443

7. Isaeva E. I., Artyukhov A. I. Variable crop rotations with lupine and soybean and their effi ciency in fi eld fodder production. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production**.** 2012;(5):8-10. (In Russ.).

8. Yagovenko L. L., Misnikova N. V., Yagovenko G. L. Dependence between meteorological conditions of vegetation period and narrow-leafed lupine seed yield quantity and quality in crop rotations. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production**.** 2012;(5):13-16. (In Russ.).

9. Ageeva P. A., Matyukhin M. V., Pochutina N. A., Gromova O. M. The results of narrow leaved lupine varieties evaluating for economically valuable traits and adaptability to the Bryansk region conditions. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2021;(5):15-17. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/5/15-17

10. Naumkin V. N., Naumkin L. A., Kurenskaya O. Yu., Lukashevich M. I., Ageeva P. A. Evaluation of lupine varieties for yield and seed quality, adaptability and plant resistance to drought. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2019;(1):132-141. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=37378400

11. Ageeva P. A., Potchutina N. A., Gromova O. M., Zaytseva N. M. Blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) – the results of varieties and accessions study according to adaptivity and a set of commercialbiological traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):211-220. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.211-220

12. Naumkin V. N., Naumkina L. A., Meshcharekov O. D., Artyukhov A. I., Lukashevich M. I., Ageeva P. A. Evaluation results of lupin samples under conditions of Central Chernozem region. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2011;(6):24-25. (In Russ.).

13. Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novak N. V., Zakharova M. V. Achievements and prospects of lupine breeding. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018:32(2):29-32. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10207

14. Ageeva P. A., Pochutina N. A., Matyukhina M. V. Blue lupine - source of valuable nutrients in forage production. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2020;(10):29-32. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44576992

15. Gataulina G. G., Zarenkova N. V., Nikitina S. S. Northern soybean varieties: climate effect on growth, development and yield. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2019;(7):34-40. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39244825

16. Golovina E. V., Belyaeva R. V. Symbiotic activity and crop formation in blue lupine and soybeans under contrasting weather conditions. *Zemledelie*. 2022;(6):31-36. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-31-36

Сведения об авторах

✉ **Кислицына Антонида Павловна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, 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/0000-0001-7474-7359**, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Попов Фёдор Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9801-3453**

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В.Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4904-697X**

Софронова Ангелина Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4904-697X**

Information about the authors

✉ **Antonida P. Kislitsyna**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str, 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7474-7359**, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Fyodor A. Popov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, 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/0000-0002-9801-3453**

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4904-697X**

Angelina Yu. Sofronova, junior researcher, the Laboratory of Agriculture, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7153-7970**

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285
УДК 633.2.03:631.165

(cc) BY

Эффективность возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и смешанных посевах

© 2023. О. А. Тимошкин✉
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Разработка элементов технологии возделывания многолетних люцерно-кострецовых смесей способствует формированию высокопродуктивных агроценозов, снижению себестоимости кормовой массы. В 2017-2022 гг. в условиях Пензенской области изучали влияние норм высева люцерны изменчивой сорта Дарья и костреца безостого Удалец в чистых и смешанных посевах, уровня минерального питания и сроков уборки зеленой массы на экономическую и энергетическую эффективность возделывания. Вегетационные периоды 2017-2021 гг. характеризовались засушливыми условиями (ГТК = 0,4-0,8), 2022 г. – нормальным увлажнением (ГТК = 1,0). Расчет себестоимости продукции показал преимущество нормы высева люцерны и костреца 70+40 %, внесения $N_{45}P_{60}K_{90}$ и уборки в раннюю фазу – себестоимость 1 т корм. ед. составила 2,36 тыс. руб., в варианте без удобрений при этой норме высева себестоимость была на 6,8 % выше – 2,52 тыс. руб. Уровень рентабельности люцерно-кострецовых смесей при возделывании на зеленую массу составил по вариантам – 161-238 %. Более высокие показатели получили в вариантах с нормой высева 70+40 %, внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ при уборке как в фазу бутонизации, так и переменном скашивании – 235-238 %. Энергетическая себестоимость 1 т корм. ед. при норме высева 70+40 % составила 1,51-1,96 ГДж (в зависимости от срока скашивания), снижение нормы высева люцерны до 40 % повысило себестоимость 1 т корм. ед. до 1,74-2,20 ГДж. Применение минеральных удобрений увеличило себестоимость 1 т корм. ед. при внесении $P_{60}K_{90}$ на 0,02-0,06 ГДж, при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ – на 0,29-0,36 ГДж. Проведение уборки в раннюю фазу энергетически выгодно – себестоимость 1 т корм. ед. получена ниже на 0,08-0,15 ГДж, чем при уборке в фазу «цветение». При высокой норме высева люцерны и низкой норме высева костреца (70+40 %) получен максимальный коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) – 5,2-7,1 (в зависимости от фона питания и срока скашивания). Со снижением нормы высева люцерны с 70 до 40 % отмечено снижение КЭЭ до 4,5-6,1. Внесение минеральных удобрений в дозе $P_{60}K_{90}$ значительно уменьшило показатели КЭЭ – с 5,8-7,1 до 5,5-6,7 и до 4,3-5,3 – в дозе $N_{45}P_{60}K_{90}$. При раннем сроке уборки (фаза «бутонизация») КЭЭ был немного выше – 4,7-7,1, чем при позднем (фаза «цветение») – 4,5-6,8.

Ключевые слова: *кормопроизводство, Medicago x varia* Martyn*, Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub*, нормы высева, срок уборки, минеральные удобрения, эффективность возделывания*

***Благодарность*:** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (№ FGSS-2022-0008).

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Тимошкин О. А. Эффективность возделывания люцерны и костреца в смешанных посевах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):276-285. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285

Поступила: 22.02.2023 Принята к публикации: 31.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Efficiency of cultivation of variegated alfalfa and awnless brome in pure form and in mixed sowings

© 2023. Oleg A. Timoshkin✉
Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The development of technology elements for the cultivation of perennial alfalfa-brome mixtures contributes to the formation of highly productive agrocenoses and reduce the cost of fodder mass. In 2017-2022, in the conditions of the Penza region, there has been studied the effect of seeding rates of alfalfa variegated of Daria variety and awnless brome Udalets in pure and mixed sowings, the level of mineral nutrition and the time of harvesting green mass on the economic and energy efficiency of cultivation. Growing seasons of 2017-2021 were characterized by dry conditions (HTC = 0.4-0.8), of 2022 – by normal moisture (HTC = 1.0). The calculation of the cost of production showed the advantage of the seeding rate of alfalfa and brome 70+40 %, the introduction of $N_{45}P_{60}K_{90}$ and harvesting in the early phase - the cost of 1 ton of feed units amounted to 2.36 thousand rubles, in the variant without fertilizers at this seeding rate, the cost was 6.8 % higher – 2.52 thousand rubles. The level of profitability of alfalfa-brome mixtures when cultivated for green mass was at a high level and amounted to 161-238 % according to the variants. Higher rates were obtained in variants with a seeding rate of 70+40 %, the introduction of $N_{45}P_{60}K_{90}$ during harvesting both in the budding phase and variable mowing – 235-238 %. Cost of 1 ton feed units at a seeding rate of 70+40 % was 1.51-1.96 GJ (depending on the mowing period), a decrease in the seeding rate of alfalfa to 40 % increased the cost of 1 ton of feed units up to 1.74-2.20 GJ. The use of mineral fertilizers increased the cost of 1 ton of feed units when applying $P_{60}K_{90}$ by 0.02-0.06 GJ, and when introducing $N_{45}P_{60}K_{90}$ by 0.29-0.36 GJ. The early phase of harvesting

was energetically favorable – the cost of 1 ton of feed units was lower than when harvesting in the flowering phase by 0.08-0.15 GJ. With a high seeding rate of alfalfa and a low seeding rate of brome (70+40 %), the maximum energy efficiency coefficient (EEC) was obtained – 5.2-7.1 (depending on the background of nutrition and the mowing period). With a decrease in the seeding rate of alfalfa from 70 to 40 %, a decrease in the EEC to 4.5-6.1 was noted. The application of mineral fertilizers significantly reduced the EEE indicators – from 5.8-7.1 to 5.5-6.7 with the application of $P_{60}K_{90}$ and to 4.3-5.3 with the application of $N_{45}P_{60}K_{90}$. At an early harvesting time (budding phase), the EEC was slightly higher – 4.7-7.1, than at a late harvesting time (flowering phase) – 4.5-6.8.

Keywords: *fodder production, Medicago x varia* Martyn*, Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub*, seeding rates, harvesting time, mineral fertilizers, efficiency of cultivation*

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-2022-0008).

The author thank the reviewers for their contributions to the expert evaluation of this work.

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

For citation: Timoshkin O. A. Efficiency of cultivation of variegated alfalfa and awnless brome in pure form and in mixed sowings. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):276-285. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.276-285

Received: 22.02.2023 Accepted for publication: 31.03.2023 Published online: 25.04.2025

Кормопроизводство в современных условиях интенсификации животноводства и необходимости снижения себестоимости производства молока и мясной продукции приобретает ведущее значение. Кормовые агрофитоценозы многофункциональны – обеспечивают получение разнообразных кормов для животных, способствуют повышению плодородия почв, обогащают их гумусом и азотом, улучшают структуру почвы, снижают ее кислотность, нормализуют водный режим, улучшают экологическую и фитосанитарную обстановку, повышают устойчивость и рентабельность сельского хозяйства [1, 2].

В структуре затрат на производство животноводческой продукции 50-60 % и более составляют корма. Сокращение затрат на корма в 2-3 раза и более позволит повысить рентабельность животноводства в 1,5-2 раза [3]. Решение этой задачи основано на производстве высококачественных объемистых кормов с содержанием 10,5-11,0 МДж обменной энергии и 18-23 % сырого протеина в сухом веществе. Таким требованиям вполне удовлетворяют корма из многолетних бобово-мятликовых смесей [4, 5, 6].

В условиях лесостепи Среднего Поволжья основными многолетними травами, используемыми для создания высокопродуктивных сенокосов и для получения зеленой массы, являются люцерна изменчивая (*Medicago* × *varia* Mart.) и кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) [7, 8]. Их совместное возделывание обеспечивает получение высоких урожаев зеленой массы – 25-30 т/га и более. Эти культуры имеют различное строение листьев и по-разному размещены в пространстве, что создает благоприятные условия освещения травостоя и повышает фотосинтетическую деятельность растений. Корневые системы люцерны и костреца в смесях располагаются в слоях почвы, что позволяет полнее использовать почвенные ресурсы и свести к минимуму отрицательное воздействие органических выделений одного вида растений на другой. Более того, в данной смеси имеет место взаимное обогащение питательными веществами. Химический состав смесей по фазам развития изменяется значительно меньше, чем у мятликовых культур в одновидовых посевах. Благодаря этому высокое кормовое качество урожая смеси сохраняется дольше, чем качество урожая одновидовых мятликовых [9, 10, 11].

Использованию смешанных агрофитоценозов, в основу которых положен принцип комплементарности, т. е. способности разных видов избегать агрессивной конкуренции и даже дополнять друг друга, в настоящее время уделяется все бóльшее внимание [12]. Мятликовые многолетние травы в смеси с бобовыми часто являются агрессивными и вытесняют последние из травостоя. Однако с помощью агротехнических факторов (например – норм высева компонентов, доз удобрений, сроков скашивания травостоев и т. п.) возможно регулировать конкуренцию мятликовых трав в смесях с бобовыми и на протяжении нескольких лет получать корма с высокой питательностью и низкой себестоимостью

[13, 14, 15]. Применяя соответствующую агротехнику возделывания бобово-мятликовых смесей, можно создавать агрофитоценозы с оптимальным соотношением входящих в смесь компонентов. В связи с этим, в 2017-2022 гг. были проведены исследования по формированию высокопродуктивных агрофитоценозов на основе люцерны изменчивой и костреца безостого и оценке эффективности их возделывания.

Цель исследований – оценить экономическую и энергетическую эффективность возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и смешанных посевах в зависимости от состава травосмеси, уровня минерального питания и сроков уборки на зелёную массу в условиях Пензенской области.

Научная новизна – применительно к почвенно-климатическим условиям лесостепи Среднего Поволжья разработаны и экспериментально подтверждены приемы создания высокопродуктивных, энергетически и экономи-чески эффективных агрофитоценозов на основе люцерны изменчивой и костреца безостого.

Материал и методы. Экспериментальную работу проводили в 2017-2022 гг. на опытном поле лаборатории агротехнологий Пензенского НИИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур». Научные исследования выполняли в трехфакторном полевом опыте (три закладки в 2017-2019 гг.).

Фактор А – норма высева люцерны и костреца в чистых посевах и смесях (% от нормы высева семян культуры в чистом виде):

1. Люцерна – 100 %. 2. Кострец – 100 %.
3. Люцерна + кострец – 70+40 %.
4. Люцерна + кострец – 55+55 %.
5. Люцерна + кострец – 40+70 %.

Фактор В – уровень применения минеральных удобрений:

1. Контроль (без удобрений).
2. $P_{60}K_{60}$. 3. $N_{45}P_{60}K_{60}$.

Фактор С – Срок уборки травосмесей (фаза развития люцерны):

1. Бутонизация. 2. Переменный (1-й г. п. – цветение, 2-й г. п. – бутонизация, 3-й г. п. – цветение). 3. Цветение.

Площадь делянки 3-го порядка 5 м^2, 2-го порядка – 15 м^2, 1-го порядка – 45 м^2, повторность 4-кратная. За контрольный вариант принят посев люцерны в чистом виде без внесения удобрений и уборке в фазу «начало цветения». Норма высева в чистом виде люцерны и костреца безостого – 6 млн всхожих семян на 1 га, в смешанных посевах – согласно схеме опыта. Способ посева – рядовой (размещение культур – черезрядное). Посев – летний (июнь), беспокровный. В исследованиях использовали сорт люцерны изменчивой Дарья (внесен в Госреестр по 4, 5, 7 регионам РФ) и костреца безостого Удалец (внесен в Госреестр по 5, 7 регионам РФ). Удобрения вносили под ранневесеннее боронование.

Закладку полевых опытов, сопутствующие наблюдения, учеты проводили в соответствии с общепринятыми методиками[1]. Экономическую эффективность рассчитывали по технологическим картам с использованием типовых норм[2], агроэнергетическую оценку – в соответствии с методическими рекомендациями[3].

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднемощный среднесуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 6,2-6,3 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91), $pH_{сол}$ – 5,4-5,5 (потенциометрически, ГОСТ 26483-85), высокое содержание легкогидролизуемого азота – 82-91 мг/кг (по Тюрину и Кононовой, ГОСТ 26951-86), повышенное содержание подвижного фосфора (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 156-162 мг, обменного калия (по Масловой, ГОСТ 26210-91) – 132-138 мг на 1 кг почвы.

Вегетационные периоды 2017-2021 гг. характеризовались засушливыми условиями (ГТК = 0,4-0,8), 2022 г. – нормальным увлажнением (ГТК = 1,0) при значительных различиях по месяцам и декадам (табл. 1).

[1]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.; Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Под ред. Новоселова Ю. К. и др. М.: ВИК, 1987. 198 с.

[2]Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве. М.: ВНИИЭСХ, 2010. 146 с.; Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства. Б. П. Михайличенко, А. А. Кутузова и др. М., 1995. 175 с.

[3]Методические рекомендации по определению годового экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе. Г. А. Полунин, А. В. Гарист, Р. И. Князева. М.: АНО «НИЦПО», 2007. 32 с

Таблица 1 – **Гидротермический коэффициент (ГТК) и количество осадков по месяцам в период вегетации многолетних трав (2017-2022 гг.) /**
Table 1 – **Hydrothermal coefficient (HTC) and amount of precipitation by months during the growing season of perennial herbs (2017-2022)**

Год / Year	*Май / May*	*Июнь / June*	*Июль / July*	*Август / August*	*Сентябрь / September*	*Май-сентябрь / May-September*
ГТК (по Селянинову) / HTC (according to Selyaninov)						
2017	1,2	0,3	0,8	0,7	0,6	0,7
2018	0,4	0,1	0,5	0,2	0,8	0,4
2019	0,6	0,7	0,8	0,7	1,0	0,7
2020	0,8	0,8	0,5	1,3	0,3	0,8
2021	0,4	1,0	0,8	1,0	1,2	0,8
2022	1,4	1,1	1,5	0	2,7	1,0
Среднемноголетнее / Long-time average annual	1,0	1,0	1,1	0,9	1,3	1,0
Количество осадков, мм / Precipitation, mm						
2017	72	16	58	6	42	194
2018	18	7	33	11	36	105
2019	28	41	42	33	44	188
2020	49	47	33	69	11	209
2021	19	72	54	67	42	254
2022	46	56	93	0	97	292
Среднемноголетнее / Long-time average annual	44	53	63	49	46	255

Количество осадков за период «май-сентябрь» в 2017 г. составило 194 мм, в 2018 г. – 105 мм, в 2019 г. – 188 мм, в 2020 г. – 209 мм, в 2021 г. – 254 мм, в 2022 г. – 292 мм при среднемноголетнем показателе – 255 мм. Недостаток осадков в мае 2018, 2019, 2021 гг., а также в июне 2018 г. (после проведения 1-го укоса) не способствовал эффективному использованию ранневесенней подкормки минеральными удобрениями, прибавка от удобрений была невысокой.

Результаты и их обсуждение. Одним из важнейших показателей при оценке приемов формирования посевов сельскохозяйственных культур является их экономическая эффективность. При возделывании кормовых культур, кроме сбора с 1 га зеленой массы, большое значение имеет определение экономических показателей, основными из которых являются затраты на производство единицы продукции, условно чистый доход, себестоимость 1 т продукции, уровень рентабельности и окупаемость затрат. Анализ и оценка этих показателей позволяет получить необходимые данные по экономической эффективности результатов иследований.

Анализ экономических показателей возделывания люцерны и костреца в чистых посевах и смесях, проведенный в среднем за год закладки посевов и трех лет пользования, показал ее высокую эффективность (табл. 2). В сумме за год закладки травостоя и в первый год пользования затраты по возделыванию изучаемых культур на сено по вариантам составили 33,87-43,53 тыс. руб/га. Разница по вариантам зависела в основном от стоимости минеральных удобрений и незначительно от нормы высева семян. На 2-3-й годы пользования затраты составляли от 10,6 до 20,3 тыс. руб/га, причем минимальный показатель затрат получен в контроле (без внесения удобрений), максимальный – при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$. В среднем за 1-й год жизни и 3 года пользования затраты составили 18,44-21,11 тыс. руб/га. Более высокими затратами отличались варианты с ежегодным применением минеральных удобрений. Расчет средств, полученных с урожаем, проведен по выходу кормовых единиц с 1 га и цене реализации 1 т фуражного зерна овса, сложившейся в среднем за 2018-2022 г. – 8000 руб.

Таблица 2 – **Экономическая эффективность возделывания люцерны сорта Дарья и костреца сорта Удалец в чистом виде и смешанных посевах на зеленую массу, в среднем за 4 года жизни (2017-2022 гг.) /**
Table 2 – **Economic efficiency of cultivation of alfalfa variety Daria and brome variety Udalets in pure form and in mixed sowings for green mass, on average for 4 years of life (2017-2022)**

Норма высева (фактор А) / Seeding rate (factor A)	*Уровень питания (фактор В) / Level of nutrition (factor B)*	*Затраты, тыс. руб/га / Costs, thousand rubles/ha*	*Стоимость полученной продукции с 1 га, тыс. руб. / Received with the harvest, thousand rubles*	*Себестоимость 1 т корм. ед., тыс. руб. / Cost price, thousand rubles/t fodder units*	*Условный чистый доход, тыс. руб/га / Conditional net income, thousand rubles/ha*	*Рентабельность, % / Profitability, %*
Фактор С (срок уборки) – фаза «бутонизация» люцерны / Factor C (mowing time) – budding of alfalfa						
Люцерна / Alfalfa 100 %	Контроль /Control	18,44	55,87	2,64	37,43	203
	$P_{60}K_{90}$	20,35	62,69	2,60	42,35	208
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	20,85	70,24	2,38	49,39	237
Кострец / Brome 100 %	Контроль / Control	18,62	43,01	3,46	24,40	131
	$P_{60}K_{90}$	20,53	47,55	3,45	27,02	132
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,03	61,49	2,74	40,46	192
Люцерна 70 % + кострец 40 % / Alfalfa 70 %+ brome 40 %	Контроль / Control	18,64	59,25	2,52	40,62	218
	$P_{60}K_{90}$	20,54	64,91	2,53	44,36	216
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,05	71,23	2,36	50,18	238
Люцерна 55 % + кострец 55 % / Alfalfa 55 % + brome 55 %	Контроль / Control	18,66	56,11	2,66	37,44	201
	$P_{60}K_{90}$	20,57	61,49	2,68	40,92	199
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,08	68,11	2,48	47,03	223
Люцерна 40 % + кострец 70 % / Alfalfa 40 %+ brome 70 %	Контроль / Control	18,69	52,00	2,88	33,31	178
	$P_{60}K_{90}$	20,60	58,11	2,84	37,51	182
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,11	65,25	2,59	44,15	209
Переменный* / Variable						
Люцерна / Alfalfa 100%	Контроль / Control	18,44	57,31	2,57	38,87	211
	$P_{60}K_{90}$	20,35	63,55	2,56	43,20	212
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	20,85	71,89	2,32	51,04	245
Кострец / Brome 100%	Контроль / Control	18,62	44,29	3,36	25,68	138
	$P_{60}K_{90}$	20,53	48,99	3,35	28,46	139
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,03	61,44	2,74	40,41	192
Люцерна 70 % + кострец 40 % / Alfalfa 70 % + brome 40 %	Контроль / Control	18,64	57,01	2,61	38,38	206
	$P_{60}K_{90}$	20,54	62,69	2,62	42,15	205
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,05	70,53	2,39	49,48	235
Люцерна 55 % + кострец 55 % / Alfalfa 55 % + brome 55 %	Контроль / Control	18,66	53,81	2,77	35,15	188
	$P_{60}K_{90}$	20,57	59,07	2,79	38,50	187
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,08	65,87	2,56	44,79	212
Люцерна 40 % + кострец 70 % / Alfalfa 40 % + brome 70 %	Контроль/ Control	18,69	50,05	2,99	31,36	168
	$P_{60}K_{90}$	20,60	55,76	2,96	35,16	171
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,11	62,32	2,71	41,21	195
Фаза «цветение» люцерны / Bloom of alfalfa						
Люцерна / Alfalfa 100%	Контроль / Control	18,44	55,95	2,64	37,51	203
	$P_{60}K_{90}$	20,35	62,29	2,61	41,95	206
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	20,85	68,48	2,44	47,63	228
Кострец / Brome 100%	Контроль / Control	18,62	41,31	3,61	22,69	122
	$P_{60}K_{90}$	20,53	45,23	3,63	24,70	120
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,03	58,19	2,89	37,15	177
Люцерна 70 % + кострец 40 % / Alfalfa 70 % + brome 40 %	Контроль / Control	18,64	56,37	2,64	37,74	202
	$P_{60}K_{90}$	20,54	61,15	2,69	40,60	198
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,05	67,89	2,48	46,84	223
Люцерна 55 % + кострец 55 % / Alfalfa 55 % + brome 55 %	Контроль / Control	18,66	52,08	2,87	33,42	179
	$P_{60}K_{90}$	20,57	56,75	2,90	36,18	176
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,08	63,49	2,66	42,42	201
Люцерна 40 % + кострец 70 % / Alfalfa 40 % + brome 70 %	Контроль / Control	18,69	48,75	3,07	30,06	161
	$P_{60}K_{90}$	20,60	53,76	3,07	33,16	161
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	21,11	60,69	2,78	39,59	188

*1 г.п. – цветение; 2 г. п. – бутонизация; 3 г. п. – цветение люцерны /
*the first year of use – flowering; the second year of use – budding; the third year of use – flowering of alfalfa

С урожаем кормовой массы смесей в среднем за 3 года пользования при скашивании смесей в фазу «бутонизация» получено 52,00-71,23 тыс. руб/га, при переменном – 50,05-70,53 тыс. руб/га, при скашивании в фазу «цветение» – 48,75-67,89 тыс. руб/га. Более высокие показатели получили при внесении минеральных удобрений и норме высева 70+40 %.

Расчет себестоимости продукции показал преимущество нормы высева люцерны и костреца 70+40 %, внесения $N_{45}P_{60}K_{90}$ и уборки в раннюю фазу – себестоимость 1 т корм. ед. составила 2,36 тыс. руб., в контрольном варианте при этой норме высева себестоимость была на 6,8 % выше – 2,52 тыс. руб. При норме высева 55+55 % себестоимость по сравнению с нормой 70+40 % была выше на 5,1-5,5 %, при норме 40+70 % – на 9,7-14,3 %.

Внесение $P_{60}K_{90}$ увеличивало в среднем за годы пользования выход кормовых единиц с 1 га и соответственно сумму полученной от реализации продукции, но затраты на удобрения и их внесение были существенными, что повысило себестоимость продукции при нормах высева 70+40 % и 55+55 % на 0,01-0,02 тыс. руб/т корм. ед., при норме высева 40+70 % и внесении $P_{60}K_{90}$ себестоимость 1 т корм. ед. получена на уровне контроля или снизилась на 0,04 тыс. руб.

Внесение $N_{45}P_{60}K_{90}$ обеспечило в среднем за годы пользования существенную прибавку урожайности зеленой массы и сбора кормовых единиц с 1 га, что привело во всех вариантах применяемых норм высева и сроков скашивания к снижению себестоимости 1 т корм. ед.

Условный чистый доход определяют как разницу между стоимостью продукции и прямыми затратами на ее получение. Чистый доход рассчитывается обычно на единицу кормов или на единицу площади посева кормовых культур. В исследованиях условный чистый доход в среднем за годы пользования смесями составил по вариантам скашивания 33,31-50,18 тыс. руб/га (фаза «бутонизации»), 31,36-49,48 тыс. руб. (переменном), 30,06-46,84 тыс. руб/га (фаза «цветения»).

Преимущество по сумме условного чистого дохода (40,62-50,18 тыс. руб/га) достигнуто при норме высева 70+40 % и скашивании в фазу «бутонизация», при норме 55+55 % снизился на 3 тыс. руб. (37,44-47,03 тыс. руб/га), при норме высева 40+70 % – на 3-4 тыс. руб. (33,31-44,15 тыс. руб/га). При переменном скашивании и в фазу «цветение» условный чистый доход был меньше на 1,0-4,8 тыс. руб/га.

Степень эффективности производства кормов выражается уровнем рентабельности, который определяется отношением чистого дохода (прибыли) к производственным затратам на корма (себестоимости). Уровень рентабельности люцерно-кострецовых смесей при возделывании на зеленую массу при скашивании в фазу «бутонизация» составил 178-238 %, при переменном – 168-235 % и 161-223 % при скашивании в фазу «цветение». Высокие показатели уровня рентабельности получили в вариантах с нормой высева 70+40 %, внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ при уборке в фазу «бутонизация» и при переменном скашивании – 235-238 %.

В целом можно констатировать, что возделывание многолетних люцерно-кострецовых смесей на зеленую массу экономически эффективно.

В чистых посевах люцерны показатели производственных затрат, стоимость продукции, себестоимость продукции, условный чистый доход и уровень рентабельности были на уровне или несколько ниже по сравнению со смешанными посевами – 18,44-20,85 тыс. руб/га, 55,87-71,89 тыс. руб/га, 2,32-2,64 тыс. руб/т корм. ед., 37,43-51,04 тыс. руб/га, 203-245 % соответственно.

Чистые посевы костреца значительно уступали посевам люцерны и смесям по показателям экономической эффективности. При практически равных затратах на производство (18,62-20,53 тыс. руб/га) стоимость полученной продукции ниже, чем в чистых посевах люцерны и смесях – 41,31-61,49 тыс. руб/га, что способствовало увеличению себестоимости продукции до 2,74-3,63 тыс. руб/ т корм. ед., снижению условного чистого дохода до 22,69-40,46 тыс. руб/га и уровня рентабельности до 122-192 %.

Многолетние люцерно-кострецовые смеси обеспечивают в условиях лесостепи Среднего Поволжья высокое и стабильное накопление обменной энергии, что в сочетании с низкими энергозатратами на производство дает высокий агроэнергетический эффект. Затраты энергии на производство 1 т корм. ед. составляют 1,51-2,20 ГДж (табл. 3).

Таблица 3 – **Энергетическая эффективность возделывания люцерны сорта Дарья и костреца сорта Удалец в чистом виде и смесях, в среднем за 4 года жизни (2017-2020 гг.) /**
Table 3 – **Energy efficiency of cultivation of alfalfa variety Daria and brome variety Udalets in pure form and mixtures, on average over 4 years of life (2017-2020)**

Норма высева (фактор А) / Seeding rate (factor A)	*Уровень питания (фактор В) / Level of nutrition (factor B)*	*Затрачено энергии в среднем за 4 года, ГДж/га / Energy spent on average over 4 years, GJ/ha*	*Получено энергии в среднем за 3 г. п., ГДж/га / Energy received on average over 3 years of use, GJ/ha*	*Энергетическая себестоимость 1 т корм. ед., ГДж / Energy cost of 1 ton feed. units, GJ*	*Чистый энергетический доход, ГДж/га / Net energy income, GJ/ha*	*КЭЭ* / EEC*
Фактор С (срок уборки) – фаза «бутонизация» люцерны / Factor C (mowing time) – budding of alfalfa						
Люцерна / Alfalfa 100%	Контроль / Control	11,1	84,5	1,58	73,4	6,6
	$P_{60}K_{90}$	12,6	93,8	1,60	81,2	6,5
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,5	103,3	1,88	86,8	5,3
Кострец / Brome 100%	Контроль / Control	11,3	67,6	2,10	56,3	5,0
	$P_{60}K_{90}$	12,8	73,5	2,16	60,7	4,7
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	91,0	2,18	74,3	4,4
Люцерна 70 % + кострец 40 % / Alfalfa 70 % + brome 40 %	Контроль / Control	11,2	90,6	1,51	79,4	7,1
	$P_{60}K_{90}$	12,7	98,2	1,57	85,5	6,7
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,6	105,5	1,87	88,9	5,3
Люцерна 55 % + кострец 55 % / Alfalfa 55 % + brome 55 %	Контроль / Control	11,3	86,1	1,61	74,8	6,6
	$P_{60}K_{90}$	12,8	93,4	1,66	80,6	6,3
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	101,0	1,96	84,3	5,1
Люцерна 40 % + кострец 70 % / Alfalfa 40 % + brome 70 %	Контроль / Control	11,3	80,1	1,74	68,8	6,1
	$P_{60}K_{90}$	12,8	88,7	1,76	75,9	5,9
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	96,8	2,05	80,1	4,7
Переменный* / Variable						
Люцерна / Alfalfa 100%	Контроль / Control	11,1	87,0	1,54	75,9	6,9
	$P_{60}K_{90}$	12,6	95,5	1,58	82,9	6,6
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,5	105,4	1,83	88,9	5,4
Кострец / Brome 100%	Контроль / Control	11,3	69,5	2,04	58,2	5,1
	$P_{60}K_{90}$	12,8	75,7	2,10	62,9	4,9
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	91,3	2,18	74,6	4,5
Люцерна 70 % + кострец 40 % / Alfalfa 70 % + brome 40 %	Контроль / Control	11,2	87,5	1,57	76,3	6,8
	$P_{60}K_{90}$	12,7	95,3	1,62	82,6	6,5
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,6	104,5	1,89	87,9	5,3
Люцерна 55 % + кострец 55 % / Alfalfa 55 % + brome 55 %	Контроль / Control	11,3	82,8	1,67	71,5	6,3
	$P_{60}K_{90}$	12,8	89,9	1,73	77,1	6,0
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	97,7	2,03	81,0	4,9
Люцерна 40 % + кострец 70 % / Alfalfa 40 % + brome 70 %	Контроль / Control	11,3	77,2	1,80	65,9	5,8
	$P_{60}K_{90}$	12,8	85,1	1,84	72,3	5,6
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	92,5	2,14	75,8	4,5
Фаза «цветение» люцерны / Bloom of alfalfa						
Люцерна / Alfalfa 100%	Контроль / Control	11,1	86,6	1,58	75,5	6,8
	$P_{60}K_{90}$	12,6	95,6	1,61	83,0	6,6
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,5	103,8	1,92	87,3	5,3
Кострец / Brome 100%	Контроль / Control	11,3	66,0	2,19	54,7	4,8
	$P_{60}K_{90}$	12,8	71,6	2,27	58,8	4,6
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	88,5	2,30	71,8	4,3
Люцерна 70 % + кострец 40 % / Alfalfa 70 % + brome 40 %	Контроль / Control	11,2	88,0	1,59	76,9	6,8
	$P_{60}K_{90}$	12,7	94,9	1,67	82,2	6,5
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,6	103,3	1,96	86,7	5,2
Люцерна 55 % + кострец 55 % / Alfalfa 55 % + brome 55 %	Контроль / Control	11,3	81,5	1,73	70,2	6,2
	$P_{60}K_{90}$	12,8	88,3	1,80	75,5	5,9
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	96,7	2,10	80,0	4,8
Люцерна 40 % + кострец 70 % / Alfalfa 40 % + brome 70 %	Контроль / Control	11,3	76,5	1,86	65,2	5,8
	$P_{60}K_{90}$	12,8	83,9	1,90	71,1	5,5
	$N_{45}P_{60}K_{90}$	16,7	92,4	2,20	75,7	4,5

*Коэффициент энергетической эффективности / Energy efficiency coefficient

Возделывание многолетних трав – наименее энергозатратно среди сельскохозяйственных культур, что подтверждается и нашими данными. В среднем за 4 года затраты энергии на возделывание люцерны и костреца в чистом виде и смесях составили 11,1-16,7 ГДж/га, причем основную долю увеличения затрат по сравнению с контролем (без удобрения) оказало энергосодержание минеральных удобрений и их ежегодное внесение – 1,5 ГДж/га ($P_{60}K_{90}$) и 5,4 ГДж/га ($N_{45}P_{60}K_{90}$).

С урожаем люцерно-кострецовых смесей получено в среднем за три года 76,5-105,5 ГДж/га обменной энергии. Поскольку выход обменной энергии тесно зависит от сбора сухого вещества с единицы площади, то тенденция влияния изучаемых факторов на выход обменной энергии с гектара схожа с таковой по сбору сухого вещества – лучшие показатели получены при норме высева компонентов 70+40 %, уровне минерального питания ($P_{60}K_{90}$ и $N_{45}P_{60}K_{90}$) и ранней фазе уборки (бутонизация).

На энергетическую себестоимость 1 т корм. ед. оказывали влияние все изучаемые факторы. При норме высева 70+40 % себестоимость 1 т корм. ед. составила 1,51-1,87 ГДж (уборка в фазу «бутонизация»), 1,57-1,89 ГДж (при переменной), 1,59-1,96 ГДж (уборка в фазу «цветение»). Снижение нормы высева люцерны (40+70 %) повысило себестоимость до 1,74-2,05, 1,80-2,14 и 1,86-2,20 ГДж соответственно. Применение минеральных удобрений повысило себестоимость 1 т корм. ед. при внесении $P_{60}K_{90}$ на 0,02-0,08 ГДж, при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ – на 0,11-0,37 ГДж. Ранняя фаза уборки была энергетически выгодной – себестоимость 1 т корм. ед. была ниже, чем при уборке в фазу «цветение» на 0,08-0,15 ГДж.

Наибольший чистый энергетический доход люцерно-кострецовых смесей в среднем за 4 года получен при норме высева 70+40 % – 76,3-88,9 ГДж/га (в зависимости от фона питания и фазы уборки), при внесении минеральных удобрений $N_{45}P_{60}K_{90}$ – 75,7-88,9 ГДж/га (в зависимости от нормы высева и фазы уборки) и ранней уборке – 68,8-88,9 ГДж/га (в зависимости от нормы высева и фона питания).

Более низкий чистый энергетический доход получили при норме высева 40+70 % на фоне без применения удобрений и при уборке в фазу «бутонизация». В чистых посевах костреца безостого также получены минимальные показатели энергетического дохода – 54,7-74,6 ГДж/га.

Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) определяется как отношение полученного энергетического дохода к затратам на 1 га. При высокой норме высева люцерны (70 %) и низкой норме костреца (40 %) получен максимальный КЭЭ – 5,2-7,1 (в зависимости от фона питания и срока скашивания). Со снижением нормы высева люцерны с 70 до 40 % отмечено понижение КЭЭ до 4,5-6,1. Внесение минеральных удобрений значительно снизило показатели КЭЭ – с 5,8-7,1 до 5,5-6,7 при внесении $P_{60}K_{90}$ и до 4,5-5,3 при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$. При раннем сроке уборки (фаза «бутонизация») КЭЭ был немного выше – 4,7-7,1, чем при позднем (фаза «цветение») – 4,5-6,8.

В целом, возделывание многолетних смесей люцерны и костреца в год закладки и в течение трех лет пользования отличалось высокими показателями энергетической эффективности.

Заключение. Изучение экономической и энергетической эффективности возделывания агроценозов люцерны изменчивой и костреца безостого в чистом виде и смешанных посевах за 4 года пользования позволило выявить лучшие варианты, способствующие получению высоких показателей.

Рентабельность возделывания люцерно-кострецовых смесей на зеленую массу была на высоком уровне и составила по вариантам – 178-238 % при скашивании в фазу бутонизации, 168-235 % при переменном скашивании и 161-223 % при скашивании в фазу цветения. Лучшие показатели уровня рентабельности получили в вариантах с нормой высева 70+40 %, внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ при уборке в фазу «бутонизация» и переменном скашивании – 235-238 %.

Наибольший чистый энергетический доход в среднем за 4 года получили при норме высева 70+40 % – 76,3-88,9 ГДж/га (в зависимости от фона питания и фазы уборки), при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{60}K_{90}$ – 75,7-88,9 ГДж/га (в зависимости от нормы высева и фазы уборки) и ранней уборке – 68,8-88,9 ГДж/га (в зависимости от нормы высева и фона питания).

Список литературы

1. Кутузова А. А., Тебердиев Д. М., Привалова К. Н., Родионова А. В., Проворная Е. Е., Жезмер Н. В. Основные направления развития лугового кормопроизводства в России. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(2):17-20. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10204 EDN: YVJGZD

2. Кутузова А. А., Тебердиев Д. М., Родионова А. В., Жезмер Н. В., Проворная Е. Е., Запивалов С. А. Экономическая эффективность усовершенствованных технологий создания и использования сеяных сенокосов. Кормопроизводство. 2020;(3):3-8. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=42769297 EDN: NGVSRE

3. Косолапов В. М., Шарифянов Б. Г., Ишмуратов Х. Г., Шагалиев Ф. М., Юмагузин И. Ф., Салихов Э. Ф., Сычева Л. В. Объёмистые корма из бобово-злаковых травосмесей в рационах кормления крупного рогатого скота. М.: РАКО АПК, 2021. 184 с.

4. Бакшаев Д. Ю., Садохина Т. А., Листков В. Ю. Создание конкурентных галего-кострецовых ценозов. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020;50(2):15-22.
DOI: https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-2 EDN: ZLUXVA

5. Козлова Л. М., Свечников А. К. Биоэнергетическая эффективность фитоагроценозов при возделывании многолетних бобово-злаковых трав. Земледелие. 2022;(1):14-19.
DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-1-14-19 EDN: HFUGCY

6. Casler M. D., Carlson I. T. Smooth bromegrass. In R.F. Barnes et al. (ed). Forages: An introduction to grass land agriculture Iowa State University Press, Ames. 1995;1:313-324.

7. Иванов А. А., Столярова О. А., Решеткина Ю. В., Шатова А. В. Современное состояние и перспективы развития мясного скотоводства в условиях лесостепной зоны на примере Пензенской области. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021;7(3(27)):227-236. DOI: https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-3-227-235 EDN: YGNZWS

8. Беляк В. Б., Тимошкин О. А., Болахнова В. И. Новые компоненты сенокосно-пастбищных смесей для лесостепной зоны. Кормопроизводство. 2016;(12):7-11.

9. Варламов В. А. Агробиологическое обоснование формирования высокопродуктивных смешанных агрофитоценозов многолетних и однолетних кормовых культур в лесостепи Среднего Поволжья: монография. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 226 с.

10. Хисматуллин М. М. Бобовые и бобово-злаковые многолетние травы – составная часть органического земледелия Республики Татарстан. Вестник Казанского Государственного аграрного университета. 2019;14(2):64-67. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5d3e169f50a868.00369270 EDN: XXKDMK

11. Laidlaw A. S., Teuber N. Temperate forage grass-legume mixtures: advances and perspectives. In Proceedings XIX International Grassland Congress, Sao Paulo, Brazil. 2001. P. 85-92.

12. Тимошкин О. А. Урожайность и биологическая эффективность возделывания смешанных посевов люцерны изменчивой и костреца безостого. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(7):12-18.
DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_7_12 EDN: XKPYHL

13. Прокина Л. Н. Комплексное использование средств химизации в посевах костреца и люцерны. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4):378-386.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.378-386 EDN: QBQQJT

14. Фигурин В. А., Сунцова Н. П., Кислицына А. П. Влияние числа укосов и сроков их проведения на продуктивное долголетие лядвенце-тимофеечных посевов на дерново-подзолистой сильнокислой почве. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(3):49-55. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.49-55 EDN: XRKLXN

15. Huyghe C., Litrico I., Surault F. Agronomic value and provisioning services of multi-species swards. EGF. 2012;17:35-46. URL: https://www.researchgate.net/publication/341928756_Agronomic_value_and_provisioning_services_of_multi-species_swards

References

1. Kutuzova A. A., Teberdiev D. M., Privalova K. N., Rodionova A. V., Provornaya E. E., Zhezmer N. V. Main directions of the development of meadow fodder production in russia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(2):17-20. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10204

2. Kutuzova A. A., Teberdiev D. M., Rodionova A. V., Zhezmer N. V., Provornaya E. E., Zapivalov S. A. Economic effectiveness of improved cultivation techniques for man-made hayfields. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2020;(3):3-8. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42769297

3. Kosolapov V. M., Sharifyanov B. G., Ishmuratov Kh. G., Shagaliev F. M., Yumaguzin I. F., Salikhov E. F., Sycheva L. V. Bulky feed from legume-cereal grass mixtures in the feeding rations of cattle. Moscow: *RAKO APK*, 2021. 184 p.

4. Bakshaev D. Yu., Sadokhina T. A., Listkov V. Yu. Creating competitive galega and bromus cenoses. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2020;50(2):15-22. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-2

5. Kozlova L. M., Svechnikov A. K. Bioenergetic efficiency of agricultural phytocenosis in the cultivation of perennial legumes and grasses. *Zemledelie*. 2022;(1):14-19. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-1-14-19

6. Casler M. D., Carlson I. T. Smooth bromegrass. In R.F. Barnes et al. (ed). Forages: An introduction to grass land agriculture Iowa State University Press, Ames. 1995;1:313-324.

7. Ivanov A. A., Stolyarova O. A., Reshetkina Yu. V., Shatova A. V. The current state and prospects for the development of beef cattle breeding in the forest-steppe zone on the example of the Penza region. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2021;7(3(27)):227-236. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-3-227-235

8. Belyak V. B., Timoshkin O. A., Bolakhnova V. I. Novye komponenty senokosno-pastbishchnykh smesey dlya lesostepnoy zony. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2016;(12):7-11. (In Russ.).

9. Varlamov V. A. Agrobiological substantiation of the formation of highly productive mixed agrophytocenoses of perennial and annual fodder crops in the forest-steppe of the Middle Volga region: monograph. Penza: *RIO PGSKhA*, 2008. 226 p.

10. Khismatullin M. M. Legumes and legume-crop perennial grasses - a constituent part of organic farming of the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(2):64-67. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.12737/article_5d3e169f50a868.00369270

11. Laidlaw A. S., Teuber N. Temperate forage grass-legume mixtures: advances and perspectives. In Proceedings XIX International Grassland Congress, Sao Paulo, Brazil. 2001. P. 85-92.

12. Timoshkin O. A. Productivity and biological efficiency of cultivation of mixed crops of variegated alfalfa and awnless brome. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(7):12-18. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_7_12

13. Prokina L. N. Integrated use of chemicals in smooth brome and alfalfa sowings. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4):378-386. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.378-386

14. Figurin V. A., Suntsova N. P., Kislitsyna A. P. The influence of hay cutting number and periods on productive longevity in lotus-timothy sowings on sod-podzolic highly acid soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(3):49-55. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.49-55

15. Huyghe C., Litrico I., Surault F. Agronomic value and provisioning services of multi-species swards. EGF. 2012;17:35-46. URL: https://www.researchgate.net/publication/341928756_Agronomic_value_and_provisioning_services_of_multi-species_swards

Сведения об авторах

✉ **Тимошкин Олег Алексеевич**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий, обособленное подразделение Пензенский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», д. 1Б, ул. Мичурина, р. п. Лунино, Пензенская обл., Российская Федерация, 442731, e-mail: info.pnz@fnclk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6928-7343**, e-mail: o.timoshkin.pnz@fnclk.ru

Information about the authors

✉ **Oleg A. Timoshkin**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Federal State Budgetary Scientific Institution, Federal Scientific Center for Bast Crops, separate subdivision of Penza Research Institute of Agriculture, Michurin str., 1B, Lunino settlement, Penza region, Russian Federation, 442731, e-mail: info.pnz@fnclk.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6928-7343**, e-mail: o.timoshkin.pnz@fnclk.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.286-293
УДК 639.1:799.2:349.6:342.951

(cc) BY

Взаимозаменяемость охот как фактор устойчивости охотпользования

© 2023. С. П. Матвейчук[1], И. А. Гребнев[2,3,4] ✉

[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Российская Федерация,*
[2]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация,*
[3]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация,*
[4]*АНО «Институт природоресурсного и экологического права», г. Киров, Российская Федерация*

Цель исследования – выработка подходов к выявлению, оценке и учёту в управлении охотничьим природопользованием социально-экологических феноменов специализации охотников (по видам охот, добываемой дичи) и взаимозаменяемости охот с учётом наличия рыночного сектора в рассматриваемой сфере. В работе, помимо общенаучных, использованы методы межотраслевых аналогий и полуструктурированных интервью. Проведено сравнение близких по формальным характеристикам охот, выявлены их существенные различия. Отмечается, что сопоставления могут быть проведены по многим охотам, и их количественные и качественные различия будут более кардинальными. Показаны широкое распространение и относительная устойчивость предпочтений охотников. Разработано определение понятия взаимозаменяемости охот. Структурные элементы данного определения задают алгоритм практического обследования, проведение которого необходимо на этапе проектирования изменения режима охраны и использования охотничьих ресурсов. Даны разъяснения по практическому анализу взаимозаменяемости охот, практикуемых на конкретных территориях, включению результатов в материалы территориального охотустройства и учету при планировании управленческих решений, предусматривающих запрет отдельных охот. Указывается, что игнорирование явления специализации охотников при установлении ограничений охоты может привести к полной или частичной утрате этой охоты, связанных с ней знаний, умений и навыков. Особенно опасна утрата высоко специализированных охот, в том числе с использованием специально выведенных пород манных и ловчих животных. Другими нежелательными последствиями могут являться сокращение социальной базы охоты в целом, а также рост протестного или вынужденного браконьерства. Эти и другие негативные явления в совокупности представляют собой угрозу устойчивости использования охотничьих ресурсов.

Ключевые слова: *специализированный охотник, универсальный охотник, охотничья услуга, охотничье предпочтение, незаменимая охота, полуструктурированное интервью, глубинное интервью*

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.
Авторы выражают благодарность респондентам, принявшим участие в интервью.
Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Матвейчук С. П., Гребнев И. А. Взаимозаменяемость охот как фактор устойчивости охотпользования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):286-293. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.286-293

Поступила: 02.08.2022 Принята к публикации: 07.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Interchangeability of hunts as a factor of sustainability of hunting use

© 2023. Sergey P. Matveytchuk[1], Ivan A. Grebnev[2,3,4] ✉

[1]*Professor B.M. Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ), Kirov, Russian Federation,*
[2]*Vyatka State University, Kirov, Russian Federation,*
[3]*Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation,*
[4]*Institute of Natural Resource and Environmental Law, Kirov, Russian Federation*

The purpose of the study is to develop in hunting management the approaches to identifying, evaluating and accounting the socio-ecological phenomena of hunter specialization (by types of hunting, game caught) and the interchangeability of hunts, taking into account the presence of a market sector in the area under consideration. The research used the methods of interdisciplinary analogies and semi-structured interviews in addition to general scientific methods. A comparison of hunts

close in formal characteristics was made, their significant differences were revealed. It is noted that comparisons can be made for many hunts, and their quantitative and qualitative differences will be more significant. The wide distribution and relative stability of hunters' preferences are shown. A definition of the concept of hunt interchangeability has been developed. The structural elements of this definition determine the algorithm of practical survey, which is necessary at the design stage of changing the protection regime and the use of hunting resources. Recommendations are given on the practical analysis of the interchangeability of hunts practiced in certain areas, the inclusion of the results in strategic planning documents and the consideration in planning management decisions that provide for the prohibition of separate hunts. It is pointed out that ignoring the phenomenon of hunters' specialization when setting hunting restrictions can lead to a complete or partial loss of this hunt, related knowledge, abilities and skills. Especially dangerous is the loss of highly specialized hunts, including the use of specially bred decoying and catching animals. Other undesirable consequences may be a reduction in the social base of hunting in general, as well as an increasing protested or constrained poaching. The combination of these and other negative phenomena creates a threat to the sustainability of the use of hunting resources.

Key words: *specialized hunter, universal hunter, hunting service, hunter preference, irreplaceable hunt, semi-structured interview, in-depth interview*

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within initiative theme.
The authors thank the respondents who have participated in the interview.
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Matveytchuk S. P., Grebnev I. A. Interchangeability of hunts as a factor of sustainability of hunting use. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):286-293. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.286-293

Received: 02.08.2022 Accepted for publication: 07.03.2023 Published online: 25.04.2023

Обеспечение устойчивости использования живых ресурсов дикой природы обычно рассматривается как экологическая задача недопущения чрезмерного изъятия (перепромысла) в целях поддержания благоприятного экологического статуса эксплуатируемых видов, популяций, группировок. Гораздо меньше внимания уделяется социально-экономическим аспектам обеспечения устойчивости не только ресурсов, но и самих процессов их использования [1, 2].

Охота представляет собой деятельность, осуществляемую множеством практик с различными целеполаганиями, техниками и объектами, от самых простых и общедоступных, не требующих особенных знаний, умений и навыков, до чрезвычайно сложных, таких как соколиная охота, которая в 2010 году была включена в Репрезентативный список нематериального культурного наследия человечества Конвенции ЮНЕСКО об охране нематериального культурного наследия (2003 г.) в качестве социальной и рекреационной деятельности, а также способа связи с природой, сохраняющих и поддерживающих всемирно значимые ценности, традиции и методы, включая методы разведения, дрессировки и ухода за птицами, используемое оборудование и связи между сокольником и птицей[1] [3].

Большинство типов, способов, приёмов охот аккумулируют традиционные и местные знания (а также практики и верования), касающиеся отношений живых существ (включая людей) друг с другом и с окружающей их средой, развивающиеся в результате многовековых адаптивных процессов и передаваемые из поколения в поколение путем культурной преемственности. Интеграция этих знаний с научным знанием способствует предотвращению или смягчению нежелательных трансформаций животного мира и среды его обитания [4, 5]. Особенно важно сохранение разнообразия охотничьих практик в тех случаях, когда охота оказывается востребованной для осуществления публичных функций, например, обеспечения безопасности людей, в том числе эпидемиологической, продовольственного самообеспечения, поддержания культурной и этнической идентичности и т. п. Наблюдаются, однако, резкие, иногда многократные и, как правило, плохо мотивированные колебания количества запретов тех или иных охот [6]. Запреты могут вводиться как государственными органами по причинам или под предлогами, связанными со снижением численности вида, стихийными бедствиями и другими обстоятельствами, так и охотпользователями, стремящимися ограничить охотничий доступ сторонних лиц в свои угодья.

[1]UNESCO. Intangible Cultural Heritage: Falconry, a living human heritage. 2021. URL: https://ich.unesco.org/en/RL/falconry-a-living-human-heritage-01708

Вместе с тем, прекращение отдельных типов (способов, приёмов) охот может представлять угрозу для устойчивости использования охотничьих ресурсов, а в случае серьёзных дисбалансов изъятия – и для устойчивого существования как охотничьих, так и неохотничьих видов животных. Частично смягчить эту угрозу может замена охот, сходных по своим объектам, техникам или потенциальным эффектам; негативные последствия прекращения одной из охот способны компенсироваться интенсификацией другой охоты.

Однако поскольку наиболее массовая любительская охота осуществляется самодеятельными гражданами, не связанными обязательствами охотиться тем или иным образом (и охотиться вообще), ключевое значение имеет сама готовность охотников к переходу с одной охоты на другую. Этот вопрос совершенно не изучен, и настоящее исследование является попыткой начать заполнение этого пробела.

Цель исследований – выработка подходов к выявлению, оценке и учёту в управлении охотничьим природопользованием социально-экологических феноменов специализации охотников (по видам охот, добываемой дичи) и взаимозаменяемости охот с учётом наличия рыночного сектора в рассматриваемой сфере.

Научная новизна:

- вычленение явления взаимозаменяемости охот, обоснование его значения и связи с устойчивостью охотпользования, формулирование определения понятия взаимозаменяемости охот;
- применение в охотоведческом исследовании метода индивидуального полуструктурированного (глубинного) интервью;
- выработка общих (предварительных) рекомендаций по определению взаимозаменяемости охот конкретной локации.

Материал и методы. Материалами исследования послужили литературные источники, нормативно-правовые и нормативно-технические акты.

В настоящей работе, помимо общенаучных методов исследования (анализ, синтез, индукция, дедукция, моделирование, сравнение), последовательно применены методы полуструктурированного интервью и межотраслевых аналогий.

В целях выявления мнений охотников по исследуемой проблеме проведён поиск в специализированных охотничьих интернет-форумах. Обнаружено и проанализировано единственное содержательное обсуждение этой темы на специализированном охотничье-оружейном Интернет-форуме GUNS.ru в 2010 г.[2], с участием одного из авторов настоящей статьи (большинство участников обсуждения не имели охотоведческого образования).

Профессиональные представления о предмете исследования выявлены методом полуструктурированного интервью [7, 8] в форме тандемного глубинного интервью [9] со специалистами из разных регионов страны (N = 25, 16 субъектов Российской Федерации). Выбор качественного метода исследования обусловлен поисковой ориентацией исследования, направленной на выявление социальных феноменов (охотничья специализация и взаимозаменяемость охот), изучением их структуры. Вопросы были намеренно широкими и открытыми, чтобы стимулировать получение несконструированных ответов. Критерием завершения выборки явилось типологическое насыщение категорий специализации и взаимозаменяемости охот [10]. В ходе проведения интервью исследователями велись записи от руки, а также осуществлялась видеозапись беседы. Круг респондентов определялся рекомендациями ранее опрошенных, включая начального респондента (метод снежного кома) [8, 11].

Учитывая, что нормативное понятие охоты включает различные процессы, а также услуги[3], сочтено методологически уместным применение в рамках метода межотраслевых аналогий [12, 13] классификационно-аналитического аппарата, используемого при определении взаимозаменяемости процессов и услуг в других отраслях экономической деятельности.

[2]Интернет-форум GUNS.ru. Взаимозаменяемость охот – помогите ответить. 03.02.2010. [Электронный ресурс]. URL: https://guns.allzip.org/topic/14/338594.html (дата обращения: 15.07.2022).

[3]Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ред. от 11.06.2021); ОК 029-2014 (КДЕС ред. 2). Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, утвержденный приказом Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст (ред. от 23.12.2021); ОК 034-2014 (КПЕС 2008). Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности, утвержденный приказом Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст (ред. от 04.02.2022).

Результаты и их обсуждение. На специализированном охотничьем Интернет-форуме GUNS.ru перед участниками профессионального сообщества (главным образом, охотниками) был поставлен вопрос о возможности замены охоты на гуся охотой на вальдшнепа, обусловленный реальной ситуацией в Ярославской области. Областное общество охотников ограничило выдачу путевок на гуся, взамен предложив охотникам путевки на вальдшнепа. Антимонопольный орган, в который поступила жалоба, предложил охотнику обосновать невозможность или нежелательность перехода с недоступной охоты на гуся на общедоступную вальдшнепиную.

По существу поставленного вопроса участниками обсуждения (N = 10) были высказаны различные мнения (39 реплик), в том числе диаметрально противоположные. Анализ суждений позволяет заключить, что они носят оценочный характер, опираются на личный опыт и индивидуальные предпочтения. Так, для одних охотников изменение применяемых орудий добывания, навыков, стаций, параметров добытого трофея является лимитирующим фактором, для других – не имеет определяющего значения. Охотники склонны выражать результирующее мнение по проблеме, без указания на формирующие его факторы. Особенности форумного общения не позволяют конкретизировать и детализировать генезис итоговых мнений, оценивать их устойчивость и распространенность. Незначительное число и разностильность высказываний не позволили также подвергнуть их статистическому анализу.

В этой связи авторы провели серию неструктурированных интервью со специалистами охотничьего хозяйства. В отличие от охотников, они в силу профессиональных и должностных обязанностей обладают управленческим опытом и возможностями представления обобщающих заключений по поставленной проблеме.

В ходе проведения интервью перед нами стояла задача установить наличие специализации среди охотников по видам добываемой дичи, выявить факторы, ее обусловливающие, а также ее устойчивость, возможность и условия переключения охотников на добывание других видов охотничьих ресурсов. Интервьюирование выявило широкий спектр мнений по поставленной тематике.

Во-первых, в отношении наличия специализации и возможности переключения охотников с одного вида добываемой дичи на другой высказаны три основные группы мнений:

- охоты очень разные и переключение невозможно, то есть охотникам присуща жесткая специализация;

- «настоящий охотник ружье не положит» и будет искать возможность охоты на предпочитаемый вид животного (в т. ч. нелегально) или будет охотиться на другие виды, хотя не всегда такая охота принесет желаемое удовлетворение, то есть существует нежесткая специализация (большинство респондентов);

- переключение между разными видами охот происходит легко, и специализация отсутствует.

В отношении доли жестко специализированных охотников респондентами обозначен диапазон от менее 1 % до более 50 %. Наиболее распространена охота на водоплавающую дичь, которой занимаются до 90 % охотников. При этом, как отметил один из респондентов, при открытии охотничьего сезона на водоплавающую дичь участвуют только 50 % охотников, в случае его закрытия охотиться вообще не будут. Эти мнения в целом согласуются с данными, ранее полученными другими исследователями [14, 15, 16].

Во-вторых, факторами, обусловившими существование специализации, названы фаунистическое разнообразие и численность вида в доступных угодьях, традиции, выход мяса с добытого животного, его вкусовые свойства, рекреация и получение эстетического удовольствия. Для лесной и лесостепной зон главным объектом охоты, по мнению ряда респондентов, является лось. Только один из наших респондентов заявил о том, что некоторые охотники не признают охоту на лося. Полученные данные свидетельствуют о том, что для значительной части охотников добыча мясной продукции является основным побудительным мотивом к занятию охотой. Специализация «на мясе» характерна преимущественно для сельских охотников, у проживающих в мегаполисах и крупных индустриальных центрах занятие охотой в большей степени определяется рекреационными и эстетическими стимулами.

В-третьих, были выделены группы охотников по предпочитаемым трофеям, например, «копытники», «гончатники», «легашатники», «гусятники», «утятники», «вальдшнепятники», «зайчатники», «промысловики» (специализи-

рующиеся на пушнине), из которых можно выделить отдельную подгруппу – «соболятники», а также специализирующиеся на куропатке.

Интервьюирование специалистов охотничьего хозяйства позволило подтвердить наличие спектра мнений по проблеме, а также устойчивость и распространенность явлений специализации и унификации охотников, обозначить количественные характеристики групп охотников.

Полученные сведения послужили основой для анализа изучаемых явлений с опорой на понятийный аппарат, сложившийся в экономической сфере и закрепленный в правовых актах.

Национальный стандарт «Услуги населению...» подразделяет их на материальные (удовлетворяющие материально-бытовые потребности, в том числе посредством создания условий для потребления услуг), нематериальные (социально-культурные) и смешанные. Социально-культурная (нематериальная) услуга определяется как услуга по удовлетворению духовных, интеллектуальных, этических потребностей и поддержание нормальной жизнедеятельности потребителя, в том числе поддержание и восстановление здоровья, духовное и физическое развитие личности, повышение профессионализма. Смешанные услуги одновременно удовлетворяют материально-бытовые и социально-культурные потребности потребителей услуг[4].

Нормативно-техническими актами под взаимозаменяемостью понимается пригодность одного процесса (услуги) для использования вместо другого процесса (услуги) в целях выполнения одних и тех же требований, причём выделяются функциональный и размерный аспекты взаимозаменяемости[5].

В антимонопольном законодательстве под взаимозаменяемыми услугами понимаются те услуги, которые «могут быть сравнимы по их функциональному назначению, применению, качественным и техническим характеристикам, цене и другим параметрам таким образом, что приобретатель действительно заменяет или готов заменить один товар другим при потреблении»[6].

Поскольку предметом исследования является универсальность и специализированность охотников, рассматриваются только элементы классификаций, касающиеся выбора и возможностей, готовности и восприятия охотника. Исключаются также действия, факторы, имеющие вспомогательное значение (размещение, транспортировка, питание и т. п.).

Вероятно, любая охота удовлетворяет материальные и нематериальные потребности и по вышеупомянутым классификациям рассматривалась бы как смешанная услуга. Нет чётких границ, разрывов и в функциональном, и в размерном аспектах процесса охоты; несмотря на существенные различия крайних случаев, рекреационные, продовольственные, духовные потребности находятся, как правило, в неразрывном единстве.

Тем не менее, существенные различия могут быть выявлены даже у охот, близких по формальным характеристикам. Покажем это на примере весенних охот на гуся (*Anser* sp.) и вальдшнепа (*Scolopax rusticola*). Эти охоты объединяются сезоном проведения тем, что оба объекта относятся к птицам (*Aves*), пернатой дичи, запретом ходовой охоты и использованием дробовых ружей.

Пространственно-временные различия относятся к биотопу (поле и опушка леса), наличию пригодных мест охоты (от ограниченности до изобилия), времени суток (световой день или исключительно вечерние сумерки). Многие считают охоту на вальдшнепа гораздо более одухотворенной, характеризующейся глубоким единением с природой, погружением в нее, чем техничная охота на гуся. Последняя этически еще более нагруженная: с одной стороны, у многих вызывает негативные эмоции отсутствие полового диморфизма у гусей и возможность, в связи с этим, добычи самок, с другой – вследствие ограниченности мест охоты наблюдаются множественные конфликты между охотниками, а в случае рытья окопов на сельскохозяйственных землях – и с правообладателями земель. Охота на вальдшнепа не требует особого профессионализма, физической подготовки и остается практически неизменной на протяжении столетий, в то время как гусиная охота в последние десятилетия развилась в особую субкультуру, предполагающую наличие обширных специальных

[4]Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 50646-2012 «Услуги населению. Термины и определения», утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.11.2012 № 1612-ст.
[5]ГОСТ 1.1-2002 «Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения», принятый Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол № 21 от 30.05.2002.
[6]Федеральный закон от 26.07.2006 № 135-ФЗ «О защите конкуренции» (ред. от 11.06.2022).

познаний, разнообразного и дорогостоящего снаряжения и оборудования (в т. ч. маскировочных приспособлений, чучел, профилей, манков, шанцевого инструмента). В случаях, когда охота на гуся планируется в закрепленных охотничьих угодьях, охотники нередко сталкиваются с заградительными, пресекательно высокими ценами на путевки. В целом затратность охоты на гусей, по сравнению с охотой на вальдшнепа, существенно выше и не может быть объяснена эстетическими и пищевыми преимуществами трофея.

Подобные сопоставления могут быть проведены по многим охотам, и, вероятно, различия будут еще более сильными. Даже сравнение этих не сильно различающихся охот позволяет сформулировать общее определение их взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость охот – сравнимость охот по пространственным, временны́м, финансовым, техническим условиям их осуществления, востребованности и развитию физических, духовных, познавательных, профессиональных и иных способностей, навыков и умений, привлекательности результатов охоты, обусловливающая действительную замену или готовность замены одной охоты другой при наличии у охотника реального выбора, необходимость которого может быть вызвана как внутренними, так и внешними факторами.

Структурные элементы данного определения задают алгоритм практического обследования, проведение которого необходимо на этапе проектирования управленческих решений особенно выражающихся в установлении ограничений охоты. Иначе говоря, следует оценивать, не приведет ли ограничение охоты к полной или частичной утрате этой охоты, что очень опасно для высокоспециализированных охот, в том числе с использованием специально выведенных пород манных и ловчих животных. Наш опыт обсуждения проблемы с охотниками и специалистами показал, что не следует доверять своим интуитивным представлениям. Необходимо обращать особое внимание на случаи, когда в результате многолетнего исполняемого, эффективного запрета какой-либо охоты утрачиваются знания, умения и навыки, необходимые для ее осуществления, что особенно недопустимо в отношении охот, традиционных для данной местности. Представляется желательным отражение этих особенностей охот, характерных для охотничьего населения этой местности, в разделе об охотничьем населении региона документов территориального охотустройства. Выпадение каких-либо охот может привести к уходу из охоты групп охотников с высокой специализацией ввиду отсутствия охот, которые они сочли бы взаимозаменяемыми и, в итоге, сокращению социальной базы охоты в целом. Нежелательными социальными следствиями могут являться рост протестного или вынужденного браконьерства, экономическими – снижение занятости (самозанятости), диверсифицированности источников продовольствия, экологическими – сужение инструментария природоохранного менеджмента.

Заключение. Проведенные исследования подтвердили, с одной стороны, наличие и относительную устойчивость специализированных групп охотников, с другой – неопределенность и большой диапазон долей этих групп охотников и жесткости их предпочтений. Выявлено ключевое значение понятия взаимозаменяемости охот для качественной и количественной оценки степени универсальности и специализации охотников. Разработано определение этого понятия, даны разъяснения по анализу взаимозаменяемости охот, практикуемых на конкретных территориях, включению результатов в материалы территориального охотустройства и учету при планировании управленческих решений, предусматривающих запрет отдельных охот.

Список литературы

1. Матвейчук С. П. Устойчивость использования охотничьих ресурсов: международные разработки и российская ситуация. Использование и охрана природных ресурсов в России. 2008;(3):44-48. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18055363 EDN: PFCTEJ

2. Матвейчук С. П. Устойчивость использования охотничьих ресурсов: международные разработки и российская ситуация (Окончание. Начало в №3). Использование и охрана природных ресурсов в России. 2008;(4):33-39. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17932429 EDN: PCKUQB

3. Debarbieux B., Bortolotto C., Munz H., Raziano C. Sharing heritage? Politics and territoriality in UNESCO's heritage lists. Territory, Politics, Governance. 2021;9:1-17. DOI: https://doi.org/10.1080/21622671.2020.1854112

4. Díaz-Reviriego I., Turnhout E., Beck S. Participation and inclusiveness in the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. Nature Sustainability. 2019;2(6):457-464. DOI: http://dx.doi.org/10.1038/s41893-019-0290-6

5. Lam D. P. M., Hinz E., Lang D. J., Tengö M., von Wehrden H., Martín-López B. Indigenous and local knowledge in sustainability transformations research: a literature review. Ecology and Society. 2020;25(1):3. DOI: https://doi.org/10.5751/ES-11305-250103

6. Скворцов Д. А. Динамика нормативных запретов орудий и способов охоты (на материале Кировской области). Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. 29 мая – 1 июня 2008 г. Иркутск: ИрГСХА, 2008. С. 189-193.

7. Brinkmann S. Unstructured and Semistructured Interviewing. In: Leavy P. (ed.). The Oxford Handbook of Qualitative Research. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2014. pp. 424-456. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190847388.013.22

8. Hennink M., Hutter I., Bailey A. Qualitative Research Methods. 2nd edition. London, UK: SAGE Publications, 2020. 346 p.

9. Штейнберг И. Е. Метод «длинного стола» на этапе исследования «в поле». Крестьяноведение. 2021;6(3):19-41. DOI: https://doi.org/10.22394/2500-1809-2021-6-3-19-41 EDN: TSATCT

10. Ильин В. И. Драматургия качественного полевого исследования: монография. СПб: Интерсоцис, 2006. 256 с. Режим доступа: http://social-orthodox.info/materials/5_3_ilin_dram%20_kach_pol_issl.pdf

11. Parker C., Scott S., Geddes A. Snowball sampling. SAGE research methods foundations, 2019. 13 p. DOI: https://dx.doi.org/10.4135/9781526421036831710

12. Peat D. International Investment Law and the Public Law Analogy: The Fallacies of the General Principles Method. Journal of International Dispute Settlement. 2018;9(4):654-678. DOI: https://doi.org/10.1093/jnlids/idy028

13. Канина Ю. С. Значение и роль субсидиарного применения норм права в институте аналогии права. Теория государства и права. 2019;(2):60-65. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39173879 EDN: HXNOUG

14. Зарубин Б. Е., Колесников В. В., Козлова А. В., Шевнина М. С., Экономов А. В. Видовая структура добычи мелкой дичи в Кировской области в начале XXI века. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):597-607. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.597-607 EDN: VLVPDI

15. Зарубин Б. Е., Макаров В. А. Весенняя охота в Кировской области (предпочтения, результаты, затраты). Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 90-летию ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова (22-25 мая 2012 г.). Под общ. ред. В. В. Ширяева. Киров: ГНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова Россельхозакадемии, 2012. С. 264-265. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vesennyaya-ohota-v-kirovskoy-oblasti-predpochteniya-rezultaty-zatraty

16. Зарубин Б. Е., Макаров В. А., Петров А. К., Экономов А. В., Козлова А. В. Видовая структура уток Кировской области и ее изменения за последние 40 лет. Вестник охотоведения. 2019;16(4):289-293. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41308782 EDN: KMNXQJ

References

1. Matveychuk S. P. Sustainability of use of hunting resources: International developments and the situation in Russia. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii*. 2008;(3):44-48. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18055363

2. Matveychuk S. P. Sustainability of use of hunting resources: International developments and the situation in Russia (Ending. Beginning in No. 3). *Ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii*. 2008;(4):33-39. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17932429

3. Debarbieux B., Bortolotto C., Munz H., Raziano C. Sharing heritage? Politics and territoriality in UNESCO's heritage lists. Territory, Politics, Governance. 2021;9:1-17. DOI: https://doi.org/10.1080/21622671.2020.1854112

4. Díaz-Reviriego I., Turnhout E., Beck S. Participation and inclusiveness in the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. Nature Sustainability. 2019;2(6):457-464. DOI: http://dx.doi.org/10.1038/s41893-019-0290-6

5. Lam D. P. M., Hinz E., Lang D. J., Tengö M., von Wehrden H., Martín-López B. Indigenous and local knowledge in sustainability transformations research: a literature review. Ecology and Society. 2020;25(1):3. DOI: https://doi.org/10.5751/ES-11305-250103

6. Skvortsov D. A. Dynamics of regulatory prohibitions of tools and methods of hunting (based on the material of the Kirov region). Protection and rational use of animal and plant resources: Proceedings of International scientific and practical Conference. May 29 – June 1, 2008. Irkutsk: *IrGSKhA*, 2008. pp. 189-193.

7. Brinkmann S. Unstructured and Semistructured Interviewing. In: Leavy P. (ed.). The Oxford Handbook of Qualitative Research. New York, NY, USA: Oxford University Press, 2014. pp. 424-456. DOI: https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190847388.013.22

8. Hennink M., Hutter I., Bailey A. Qualitative Research Methods. 2nd edition. London, UK: SAGE Publications, 2020. 346 p.

9. Shteynberg I. E. The 'long table' method at the field stage of the research. *Krest'yanovedenie*. 2021;6(3):19-41. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22394/2500-1809-2021-6-3-19-41

10. Ilin V. I. Dramaturgy of qualitative field research: monograph. Saint Petersburg: *Intersotsis*, 2006. 256 p. URL: http://social-orthodox.info/materials/5_3_ilin_dram%20_kach_pol_issl.pdf

11. Parker C., Scott S., Geddes A. Snowball sampling. SAGE research methods foundations, 2019. 13 p. DOI: https://dx.doi.org/10.4135/9781526421036831710

12. Peat D. International Investment Law and the Public Law Analogy: The Fallacies of the General Principles Method. Journal of International Dispute Settlement. 2018;9(4):654-678. DOI: https://doi.org/10.1093/jnlids/idy028

13. Kanina Yu. S. The importance and role of subsidiary application of law in the institute of analogy of law. *Teoriya gosudarstva i prava*. 2019;(2):60-65. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39173879

14. Zarubin B. E., Kolesnikov V. V., Kozlova A. V., Shevnina M. S., Economov A. V. Species structure of small game hunting in the Kirov region at the beginning of the XXI century. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(4):597-607. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.597-607

15. Zarubin B. E., Makarov V. A. Spring hunting in the Kirov region (preferences, results, costs). Modern problems of nature management, hunting and animal husbandry: Proceedings of International scientific and practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the VNIIOZ named after prof. B. M. Zhitkov (May 22-25, 2012). *Pod obshch. red. V. V. Shiryaeva*. Kirov: *GNU VNIIOZ im. prof. B. M. Zhitkova Rossel'khozakademii*, 2012. pp. 264-265. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vesennyaya-ohota-v-kirovskoy-oblasti-predpochteniya-rezultaty-zatraty

16. Zarubin B. E., Makarov V. A., Petrov A. K., Ekonomov A. V., Kozlova A. V. Species structure of the ducks of the Kirov region and its changes over the past 40 years. *Vestnik okhotovedeniya* = Bulletin of hunting science. 2019;16(4):289-293. (In Russ.). URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41308782

Сведения об авторах

Матвейчук Сергей Павлович, старший научный сотрудник отдела экономики, техники, права и охотничьего туризма, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5205-0438**

✉ **Гребнев Иван Анатольевич**, кандидат биол. наук, доцент, доцент кафедры трудового и социального права, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru; доцент кафедры охотоведения и биологии диких животных, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация, Октябрьский пр-кт, 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgsha.info; директор, АНО «Институт природоресурсного и экологического права», ул. Пролетарская, д. 14, г. Киров, Российская Федерация, 610002, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8028-0713,** e-mail: ivan_grebnev_84@mail.ru

Information about the authors

Sergey P. Matveytchuk, senior researcher, the Department of Economics, Engineering, Law and Hunting Tourism, Professor B.M. Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ), Preobrazhenskaya (Engels) street, 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5205-0438

✉ **Ivan A. Grebnev**, PhD in Biological Science, associate professor, associate professor at the Department of Labor and Social Law, Vyatka State University, Moskovskaya str., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru; associate professor at the Department of Hunting and Biology of Wild Animals, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky Ave., 133, Kirov, Russian Federation, 610017,
e-mail: info@vgsha.info; Director, Institute of Natural Resource and Environmental Law, Proletarskaya str., 14. Kirov, Russian Federation, 610002, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8028-0713**, e-mail: ivan_grebnev_84@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.294-305
УДК 639.1.053

(cc) BY

Разработка технологии стандартизации параметров зимнего маршрутного учета охотничьих животных

© 2023. В. М. Глушков[1]✉, В. А. Соловьев[1], М. С. Шевнина[1,2]
[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Российская Федерация*
[2]*ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация*

Необходимость разработки новой технологии размещения учетных маршрутов охотничьих животных вызвана не только трудностью исполнения рекомендаций действующей методики зимнего маршрутного учета (ЗМУ) по «равноудаленному размещению» учетных маршрутов с «соблюдением пропорционального обследования категорий угодий – лес, поле, болото», но и неспособностью метода группировки выборки по категориям угодий снизить разнородность обследуемого материала. В основу стандартизации размещения учетных маршрутов положена технология стратификации территории, в которой виртуальные границы страты служат для определения площади экстраполяции и места размещения трассы учетного маршрута. По общей площади хозяйства устанавливается табличное, или расчетное (для хозяйств с иной площадью), значение норматива длины маршрута, км/тыс. га. В общедоступной программе SASPlanet по карте границы хозяйства и принципиальной схеме размещения учетных трасс в стратах определяется длина и ширина территории. По оригинальным алгоритмам рассчитываются параметры: общая протяженность маршрутов, средние значения длины и ширины территории, число страт, расстояние между учетными трассами, длина трассы в страте, площадь страт, – необходимые для проектирования стратификации территории. На примере конкретного хозяйства с неизвестными, кроме площади территории, значениями параметров, показана пригодность алгоритмов для расчета параметров, создана карта границ страт и размещения учетных трасс, определена площадь страт и проектная протяженность учетной трассы в каждой страте, созданы оцифрованные файлы трасс, необходимые для работы по их привязке к местности, дана технология привязки. Результаты исследования подтвердили технологичность и простоту способа локализации маршрутов и участков экстраполяции, а также совместимость их упорядоченного размещения с соблюдением стандартизированного объема выборки для территорий с любой площадью и конфигурацией границ.

Ключевые слова: *стратификация территории, размеры хозяйства, площадь страт, локализация, нормативы длины, учетные трассы*

***Благодарности*:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (тема № 0766-2014-0002).

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

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

***Для цитирования*:** Глушков В. М., Соловьев В. А., Шевнина М. С. Разработка технологии стандартизации параметров зимнего маршрутного учета охотничьих животных. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):294-305. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.294-305

Поступила: 28.09.2022 Принята к публикации: 07.04.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Development of technology for standardization of parameters of winter route registration of game animals

© 2023. Vladimir M. Glushkov[1]✉, Vyacheslav A. Solovyev[1], Maria S. Shevnina[1,2]
[1]*Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russian Federation,*
[2]*Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation*

The need to develop a new technology for planning survey routes is caused not only by the difficulty of implementing the recommendations of the current methodology for winter route accounting (ZMU) for the "equidistant placement" of survey routes with "observance of a proportional survey of land categories forest, field, swamp", but also by the inability of the method of grouping the sample into categories of land to reduce the heterogeneity of the examined material. To standardize the placement of accounting routes, the technology of stratification of the territory is put, in which the virtual boundaries of the stratum serve to determine the extrapolation area and the location of the survey route. For the total area of the hunting farm, a tabular, or calculated (for farms with a different area), value of the route length standard, km/thousand ha, is established. The free navigation program SAS Planet determines the length and width of the territory within the boundaries of the hunting area and the principle layout of the registration routes in the strata. According to the algorithms, the following parameters are calculated: the total length of the routes, the average values of the length and width of the territory, the number of strata, the distance between the registration routes, the length of the route in the stratum, the area of the strata, which are necessary for designing the stratification of the territory. On the example of a specific farm with unknown values of

parameters, except for the area of the territory, the suitability of algorithms for calculating parameters is shown; a map of the boundaries of the strata and the location of the accounting traces was created; the area of the strata and the design length of the registration route in each stratum were determined; digitized files of traces necessary for work on their reference to the terrain have been created; the technology of binding is given. The results of the study confirmed the manufacturability and simplicity of the method for localizing routes and extrapolation sites, as well as the compatibility of their ordered placement in compliance with a standardized sample size for territories with any area and boundary configuration.

Keywords: *stratification of the territory, size of the hunting area, area of strata, localization, length standards, counting routes*

***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 Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (theme No. 0766-2014-0002).

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

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

For citation: Glushkov V. M., Solovyev V. A., Shevnina M. S. Development of technology for standardization of parameters of winter route registration of game animals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):294-305. (In Russ.). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.294-305

Received: 28.09.2022 Accepted for publication: 07.04.2023 Published online: 25.04.2023

В охотничьем хозяйстве России одним из основных методов оценки численности диких животных служит зимний маршрутный учет (ЗМУ), применяемый из-за его универсальности, простоты исполнения и меньшей, по сравнению с другими методами учета, трудоемкости учетных работ [1, 2]. Вместе с тем, указанный метод имеет ряд недостатков системного характера, детально изложенных в разделах 1.3-1.5 «Улучшенной методики ЗМУ» [3]. Один из существенных недостатков, от которого требуется избавляться – способ группировки выборки по категориям лес, поле, болото. Начиная с момента появления метода ЗМУ [4] и после неоднократного его пересмотра [5, 6], по-прежнему остаются неупорядоченность, неконкретность и противоречивость требований по размещению и конфигурации учетных маршрутов, трудность их исполнения из-за мозаичного распределения растительных ассоциаций. Порождаемое способом группировки «*по категориям угодий*» многообразие конфигурации и локализации учетных маршрутов создает не только организационные и материальные трудности исполнения методических требований «равномерного распределения учетных маршрутов (у. м.) с пропорциональным охватом участков каждой категории угодий (п. 11), пригодности у. м. любой конфигурации (13.1), при условии размещения на расстоянии не менее 1 км между соседними у. м. (п. 13.5)» [6], но может стать непосредственной причиной искажения оценки численности лося [7]. Кроме того, не во всех случаях достигается повышение однородности выборки в категориях [8]. По материалам маршрутных учетов лося, полученных институтом от региональных департаментов охраны природных ресурсов для выполнения НИР по изучению сезонных миграций лосей на северо-востоке европейской части России [9], однородность выборки при группировке по категориям угодий, характеризуемая коэффициентом вариации, связана только с протяженностью учетных маршрутов ($r = -0,739$) и с числом пересечений следов ($r = -0,902$), и в группах может становиться ниже, чем в общей выборке (табл. 1).

В целом, результаты проверочных учетов дают основание считать неудачным способ расчета плотности по сумме показателей учета на отрезках отдельных маршрутов, как правило, различной длины, которым соответствуют площади неодинакового размера. По процентному отношению суммарных данных учета и площадей учета такие группы отрезков маршрутов формально могут соответствовать названию «*выборка по категории угодий*». Однако принятый в стандартной методике ЗМУ, в т. ч. ее последнем варианте [6], способ расчета плотности и численности по отношению суммы общего для категории числа пересечений следов к общей протяженности маршрута в категории, а не по сумме дифференцированных оценок численности в подгруппах категории [10], не позволяет получить взвешенные по площади оценки численности, что приводит к снижению точности общей оценки. Кроме того, для хозяйственной деятельности, оценка численности животных по категориям угодий менее функциональна, чем оценка по конкретным участкам с известной площадью (страты). Предлагаемая технология обеспечивает пространственную связь учетных трасс (обследуемая совокупность) с территорией страты (изучаемая совокупность) и поддерживает возможность осуществления стандартизации значений параметров *длина маршрута и их местоположение, площадь экстраполяции*, что подтверждает актуальность ее применения.

Таблица 1 – **Статистика выборочного показателя при группировке выборки данных маршрутного учета лося по категориям угодий /**
Table 1 – **Statistics of the sample indicator when grouping selection of data on route accounting of elk by land categories**

Показатель / Indicator	*Общая выборка / General selection*	*Категория угодий / Category of land*		
		лес / forest	*поле / field*	*болото / swamp*
Длина учетных маршрутов, км / Length of accounting routes, km	7214	4949	275	1990
Число пересечений следов лося, Y / Number of elk footprints crossing, Y	794	730	5	59
Число отрезков маршрута, n / Number of route segments, n	51	16	17	18
Среднее число пересечений (показатель учета) / Average number of crossings (accounting rate)	0,1101	0,1475	0,0182	0,0296
Стандартное отклонение взвешенное, σ / Standard deviation weighted, σ	0,0819	0,0717	0,0193	0,0328
Коэффициент вариации, взвешенное, % / Coefficient of variation, weighted, %	0,7442	0,4861	1,0623	1,1073

Цель исследования – создание технологии проектирования стратификации территории охотничьего хозяйства как способа дифференцировки участков экстраполяции расчетной плотности и локализации учетных трасс.

Задача исследования – создать простую, не требующую дорогостоящего программного обеспечения и доступную для самостоятельного исполнения охотпользователем технологию стратификации территории охотничьего хозяйства, с примером ее поэтапного выполнения. Это попытка приблизить мониторинг ресурсов охотничьих животных к существующим в отечественном охотоведении представлениям «об экологически правильном проведении учетов» [11].

Научную новизну представляет система оригинальных алгоритмов, позволяющая по трем известным значениям (общая площадь хозяйства, норматив длины учетных маршрутов, размеры – длина и ширина территории хозяйства) сформировать шаблон стандартизированного расчета основных параметров ЗМУ для хозяйств с любой площадью и конфигурацией границ.

Материал и методы. Для работы по созданию технологии стратификации территории охотничьего хозяйства использованы материалы экспериментальных учетов, проведенных на территории ряда областей европейской части РФ в период с 2015 по 2018 год. Основой экспериментальных способов учета и обработки послужили методики ЗМУ, применяемые в практике учета охотничьих животных [4, 5, 6], статьи с критическими замечаниями в адрес применяемых методов ЗМУ, результаты экспериментальных учетов (В. М. Глушков, годовые отчеты 2015, 2016, 2017, 2018; рукописи из фонда ВНИИОЗ), разработка «улучшенной» методики ЗМУ [3], а также монографические материалы по методам выборочных исследований и способам обработки полученных результатов [12]. Положительные результаты апробации нового, для охотничьего хозяйства России, способа группировки выборочных данных ЗМУ по уровню линейной плотности, выразившиеся в снижении ошибки выборочного среднего по животным отдельных видов на 41,4-53,0 % и возможности безущербного, для качества выборки, уменьшения норматива длины учетных маршрутов до 27 % [8, 13], подтвердили практическую значимость его использования при группировке выборочных данных ЗМУ. Независимость способа группировки выборки от состава растительности позволяет отказаться от требования периодического (1 раз в 10 лет) пересмотра категорий угодий в местах размещения учетных маршрутов.

Результаты и их обсуждение. *Расчет оптимального норматива длины учетных трасс*. Г. Коли [12], обсуждая тему определения численности животных с помощью выборочных методов учета, уточнил, что при больших различиях плотности населения животных (что не является исключением), наиболее точные оценки средней плотности получаются, если всю изучаемую территорию

разбить на зоны, внутри которых уровень плотности примерно одинаков, и вычислять общую плотность по значениям плотности в каждой зоне. Такое разделение территории названо стратификацией, а зоны – стратами. Обычно неоднородно заселенная территория выборки подразделяется на некоторое число страт, в каждой из которых плотность относительно однородна. Точность оценки возрастает, поскольку теперь она становится функцией изменчивости выборок в стратах, а не изменчивости по территории в целом. На примере использования способа стратификации при учете карибу была показана возможность двукратного повышения точности оценки плотности. Проверка возможности повышения точности оценок с помощью ЗМУ по следам на снегу не дала ожидаемого результата. Возможно сказалось влияние группировки по категориям угодий (трассы маршрутов в экспериментальных учетах оставались прежними), но могла повлиять и изменчивость плотности по годам и сезонам года. Главным препятствием для применения при ЗМУ группировки выборки территориальным способом стало большое число видов животных, одновременно учитываемых на одном и том же маршруте. Выделение большого числа «видовых» участков территории с различным уровнем плотности и создание сложной и многокилометровой сети маршрутов потребовало бы огромные средства. На практике оказалось, что территориальный (по стратам) способ группировки выборки не повышает ее однородность, но задача снижения дисперсии и стандартной ошибки успешно и без дополнительных затрат может быть решена уже после проведения учета на камеральном этапе обработки данных с помощью инновационного метода расслоения выборки по уровню линейной плотности [8, 13]. При поэтапном снижении длины маршрута на 50 и 75 %, уменьшение длины маршрутов до 27 % сохранило 10-процентный уровень стандартной ошибки для всех обследованных территорий, на которых уровень плотности населения животных был выше минимального. Такую эффективность нового способа группировки, не требующего от охотпользователя никаких затрат, можно рассматривать как очень высокую. Не менее актуальна задача упорядочения локализации мест размещения учетных маршрутов и конкретизации площади экстраполяции, от которых зависит достоверность расчетных значений в выборочных исследованиях. Большая значимость правильной организации сбора первичного материала в выборочных исследованиях отмечена в нашей публикации [7], в высказываниях У. Кокрена [10, с. 15]: «… *Когда изучаемый материал далеко не однороден, как это часто и бывает, способ получения выборки приобретает решающее значение, а изучение методов, позволяющих получить достоверные сведения, становится весьма важным*» и знатока мониторинговой темы Н. Н. Гракова [11, с. 7]: «… *Только тогда можно правильно оценить достоверность получаемых оценок, когда сбор полевого материала выполнен экологически корректно*». Упомянутая в данной статье критика многообразия конфигурации учетных маршрутов, как одного из источников ошибок в оценке численности, и мнение авторитетных специалистов указывают на актуальность внедрения в практику ЗМУ технологии стратификации, которая позволяет конкретизировать площадь экстраполяции и локализацию нормированных по площади маршрутов, а система алгоритмов расчета обеспечивает стандартизацию всех основных параметров учета. Для осуществления технологии *стратификации территории* потребовались значения 3 параметров: 1) общая площадь территории хозяйства, тыс. га; 2) норматив длины учетного маршрута для хозяйств с данной площадью территории – табличное или расчетное значение; 3) размеры территории (км) по карте границ хозяйства. Особенность задачи разработки данной технологии – создать возможность проектирования стратификации, не обращаясь к ГИС-технологам и дорогостоящему программному обеспечению. По существующим нормативам [5, 6], с нашими дополнениями [13] предусмотрено применение сниженных нормативов длины маршрута для хозяйств с различной площадью территории, расположенных в разных природных зонах (табл. 2).

Расчетный норматив длины маршрута для лося распространен на остальные виды животных. Для животных редких видов (барс, волк, рысь, росомаха, тигр), площадь участка суточного обитания которых нередко превышает площадь страты, и даже всего хозяйства, в программе обработки предусмотрен выбор варианта расчета «без подразделения территории на страты». Для определения норматива длины маршрутов в тех хозяйствах, площадь которых отличается от указанной в таблице 2, разработан метод аппроксимации с помощью уравнения регрессии степенного типа (рис. 1).

Таблица 2 – **Зональные нормативы длины маршрутов в стратифицированных выборках на территориях с равнинным ландшафтом /**
Table 2 – **Zonal standards for the length of routes in stratified samples in areas with a flat landscape**

Учётная территория, тыс. га / Accounting territory, thousand ha	*Длина маршрута, км / Route length, km*	*Норматив длины, км/тыс. га / Length standard, km/thousand ha*	*Регионы, подзоны лесной и лесостепной зон / Regions, subzones of forest and forest-steppe zones*
15	38	2,5	Северо-Западные и Центральные регионы. Вся территория подзоны южной тайги, смешанные леса, лесостепная зона / Northwestern and Central regions. The entire territory of the southern taiga subzone, mixed forests, forest-steppe zone
35	53	1,5	
125	112	0,9	
300	310	1,03	
475	513	1,08	
50	50	1,0	Подзоны средней и северной тайги Европейской части, Урала, Сибири и Дальнего Востока / Subzones of the middle and northern taiga of the European part, the Urals, Siberia and the Far East
100	70	0,7	
300	180	0,6	
750	337	0,45	
1 200	373	0,32	

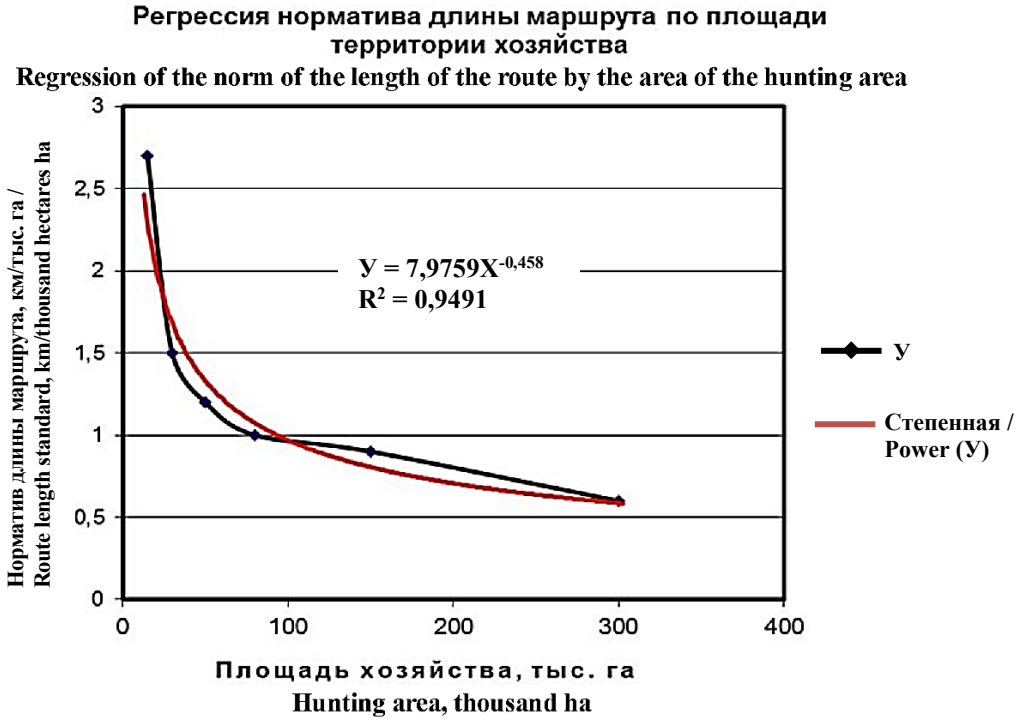


Рис. 1. **Определение норматива длины учетного маршрута по общей площади территории хозяйства: У = 7,9759 $X^{-0,4576}$; R^2 = 0,9491 (У – норматив длины, км/тыс. га; X – площадь хозяйства, тыс. га) /**
Fig. 1. **Determination of the standard length of the accounting route for the total area of the territory of the hunting farm: У = 7.9759 $X^{-0.4576}$; R^2 = 0.9491 (У – length standard, km/thousand ha; X – farm area, thousand ha)**

Технология стратификации и создания карты хозяйства. В интернете в свободном доступе существует электронный ресурс «Карта охотника»[1], который дает информацию о площади хозяйства и схематически отображенной границе территории, а также адрес, телефон владельца хозяйства. При отсутствии у охотпользователя карты хозяйства данные сайта могут пригодиться при создании страт и проектировании учетных маршрутов. В качестве проверки функциональности данных геопортала для целей стратификации территории

[1]Геопортал охотничьего хозяйства России. Карта охотника [Электронный ресурс]. URL: http://huntmap.ru (дата обращения: 30.08.2022).

охотничьих хозяйств использована территория ОГБУ «Костромское государственное опытное охотничье хозяйство» (ОГБУ КГООХ), рекомендованное руководством департамента природных ресурсов Костромской области.

Планирование, корректировка и привязка трасс учетных маршрутов. *Вариант ручного создания карты границы хозяйства.* При отсутствии карты исследуемой территории, выполненной в совместимом или пригодном для декодировки формате с программой SASPlanet, охотпользователь может использовать имеющуюся бумажную карту или схему границ, полученную с геопортала, скопированную посредством Print Screen и сохраненную в формате *jpg*, или карту, полученную из других источников. Для создания карты в SASPlanet бумажная карта хозяйства с границей территории (или схема границы) в формате *jpg* используется параллельно с открытой на экране компьютера программой SASPlanet. В SASPlanet выбирается наиболее информативная карта-подложка одного из картографических сервисов, которая будет отображаться в окне программы. Находится месторасположение территории хозяйства через поисковую систему программы по известным данным (область, район, населенные пункты). Для систематизации создаваемых в программе пространственных объектов (в терминологии SASPlanet-меток (точки, линии, полигоны) на панели управления программы SASPlanet открывается диалоговое окно «Управление метками». На панели «Категория меток» окна «Управление метками» создается категория с названием территории («Территория Х», Х – название хозяйства). Для рисования границы выбирается инструмент «добавить Полигон». Сверяясь с картой *jpg,* на рабочей карте выбирается место, совпадающее с прямолинейным отрезком границы и ставятся по его концам первая и вторая точки. Продолжая ставить 3, 4, 5 и т. д. точки дальше по границе в местах выступов и впадин, замыкается линия границы. После создания объекта появляется окно свойств создаваемого объекта, в нем необходимо указать имя объекта («Граница») и выбрать категорию, в которой будет сохранена метка («Хозяйство Х»). При укрупненном масштабе карты производится уточняющее редактирование создаваемой в SASPlanet схемы границы хозяйства. Убедившись, что граница на карте-подложке на всем протяжении отражает границу на карте-образце, определяется «площадь» территории хозяйства. Щелчком правой клавиши мыши по полигону выбирается в контекстном меню пункт «Информация о метке», в списке которой находим пункт «Площадь». Квадратные километры переводим в тысячи га делением на 10. Используя инструмент линейка, определяем параметры «длина» и «ширина» территории хозяйства. Записываем значения в км. При меняющемся значении длины и ширины делается не менее чем по три замера этих параметров и определяются их средние значения для данного хозяйства.

Технология создания файлов учетных трасс. Для рисования границ страт выбираем составленный от руки на листе карты эскиз размещения трасс учетных маршрутов, руководствуясь принципиальной схемой (рис. 2) и предварительно рассчитанными параметрами стратификации (табл. 3).

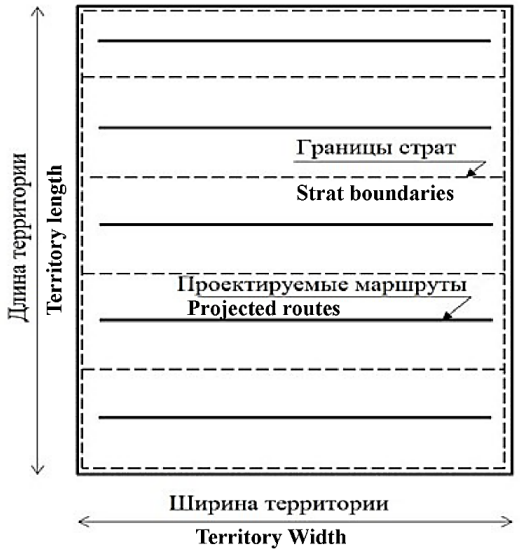


Рис. 2. **Принципиальная схема размещения трасс учетных маршрутов /**
Fig. 2. **Principal diagram of the placement of traces of accounting routes**

Таблица 3 – **Принцип расчета основных параметров стратификации территории /**
Table 3 – **The principle of calculating the main parameters of the stratification of the territory**

Площадь хозяйства, S, тыс.га / Hunting Area, S, thous. ha	*Норматив длины маршрута, км/тыс. га / Route length standard, km/thous. ha*	*Общая длина маршрута хозяйства, км / The total length of the route of the hunting farm, km*	*Средние размеры хозяйства, км / Average size of hunting grounds, km*		*Количество страт, n_s / Number of strata, n_s*	*Расстояние между трассами маршрутов, d, км / Distance between routes, d, km*	*Длина маршрута в страте, км / Route length in the stratum, km*	*Площадь страты, тыс. га / Area of the stratum, thous. ha*
			длина, lsr / length, lsr	*ширина, hsr / width, hsr*				
St	NL	$\sum L = NL \cdot St$	$\sum l/nl$	$\sum h/nh$	$n_s = \sum l/h_{sr}$	$d = Lt/n_s$	$L = \sum L/n_s$	$s_{str} = S_t/n_s$
15	2,31	35	15	10	3	5,0	11,67	5,0
20	2,03	41	20	10	3	6,67	13,67	6,67
30	1,7	51	23	13	4	5,75	12,75	7,5
50	1,33	67	28	18	4	7,0	16,75	12,5
80	1,07	85	35	25	4	8,75	21,25	20,0
134,9	*0,9*	*122*	*43,06*	*31,04*	*4*	*10,77**	*30,5**	*33,73**
300	0,6	180	60	50	4	15,0	45,00	75,0

* Значения параметров уточняются после создания рисунка страт с трассами учета /
* The values of parameters are specified after the drawing of strata with metering traces is created.

В таблице 3 представлены данные модельных территорий и реальные значения площади, средней длины и ширины территории КГООХ (строка выделена курсивом).

Изображение маршрутов на рисунке 2 в виде прямых линий не означает, что трасса учетного маршрута должна быть исключительно прямой, без отклонений. Прокладка маршрутов с такой прямизной не нужна и не выполнима по экономическим соображениям. Цель создания рисунка 2 состоит в том, чтобы сделать более понятным принцип размещения маршрутов на учетной территории, поддерживающий установленный норматив длины маршрутов, площадь страт и расстояние между учетными трассами. Дополнительного пояснения требует предложенная в статье прямолинейная конфигурация маршрута: в улучшенной методике ЗМУ, не использующей группировку выборки «*по категориям угодий*», такое решение не вызывает вопросов, но предложение их применения в стандартной методике ЗМУ первоначально может вызвать возражения, обоснованные нарушением принципа пропорциональности длины маршрута с площадью категорий угодий. В статье Л. Е. Катуркиной [14, с. 104] показано, что прямолинейная форма учетных маршрутов дает «*заметное отклонение (в 2-3 раза) на участках* (имеются в виду отдельные выдела той или иной категории угодий – В. Г. Глушков), *удельный вес каждого из которых не превышает 2% от общей площади»* [14, с. 105]. В целом «*норма прямолинейных маршрутов в 1 км на 100 га площади обеспечивает более или менее точную пропорциональность размещения маршрутов по типам угодий. Точность эта такова, что получаемые на маршрутах данные учета близки к действительности*». Поскольку методика расчета плотности в стандартном ЗМУ оперирует суммарными по категориям угодий значениями длины маршрута и количества пересечений следов, допустимо ожидать уменьшения алгебраической

суммы величины диспропорции за счет усреднения плюсовых и минусовых отклонений и, как следствие этого, снижения ошибки в оценках численности. По-видимому, этот вопрос потребует дополнительного изучения в том случае, если в стандартной методике не будет сделан переход на группировку выборки по уровню линейной плотности, используемой в улучшенной методике ЗМУ.

Облегченный вариант создания карты границы хозяйства. Возможность значительно уменьшить трудоемкость работы по созданию карты границы хозяйства и ее экспорта в программу SASPlanet дает программное приложение, скачанное из интернета (адрес утрачен), позволяющее импортировать границы охотугодий и сохранять их в формате *plt*, совместимом с программой SASPlanet. При проверке обоих способов создания карты границы ОГБУ КГООХ в программе SASPlanet графическое отображение границы тем и другим методом совпало на 100 %, но площадь территории по упрощенному методу составила на 0,76 тыс. га больше. По-видимому, небольшие и незаметные расхождения границ построенного полигона имели место и оказались достаточными, чтобы увеличить площадь хозяйства более чем на 0,5 тыс. га.

Пример расчета основных параметров стратификации на территории ОГБУ КГООХ.

1. В расчетах использованы: алгоритмы расчета всех актуальных параметров стратификации (табл. 3), в т. ч. размеры территории ОГБУ КГООХ (средняя длина территории 43,064 км; средняя ширина 31,04 км). Общая площадь территории ОГБУ КГООХ, по данным геопортала *http: huntmap.ru*, S_t = 134,9 тыс. га.

2. В таблице 1 нет норматива длины маршрута (NL) для хозяйства площадью 134,9 тыс. га, поэтому расчет производили по уравнению:

У = 7,9759 $X^{-0,4576}$ (У – норматив длины, км/тыс. га; X – площадь хозяйства, тыс. га).

$NL = 7,9759 \cdot 134,9^{-0,4576} = 0,845 \approx 0,9$ км/тыс. га.

3. Общая протяженность маршрутов ∑L для хозяйства с площадью S_t = 134,9 тыс. га и нормативом длины NL = 0,9 км/тыс. га составит: $\sum L = NL \cdot S_t = 0,9 \cdot 134,9 \approx 122$ км.

4. Число страт (n_s) для территории с шириной h_{sr} = 31,04 км определяется как частное от деления общей протяженности маршрутов ∑L на среднее значение ширины территории, км: $n_s = \sum L / h_{sr} = 122/31,04 = 3,93 \approx 4$ страты.

Виртуальные границы страты, сопряженные с границами территории или соседних страт, проектируются как две параллельные линии, проходящие с двух сторон от маршрута на примерно одинаковом от него расстоянии. Границы страт нужны для определения *площади страты и ее середины,* по которой прокладывается трасса учетного маршрута.

5. Ширина страты равна расстоянию между соседними трассами (d) и рассчитывается как частное от деления «средней длины» территории Lt на число страт:

n_s: $d = Lt / n_s = 43,06 / 4 = 10,77$ км.

Начальная точка каждой учетной трассы (середина каждой страты) ставится на границу «длины» с одной из сторон территории хозяйства на расстоянии 0,5 d км от границы с соседней стратой и 10,77 км от начальной точки учетной трассы в соседней страте. Полноразмерные по ширине 3 страты располагаются в северной части хозяйства, а ширина крайней (южной) страты (№1) определяется по остаточному принципу. Точка начала учетной трассы в этой страте на восточной границе территории хозяйства удалена от точки начала учетной трассы в соседней (№2) страте не на 10,77 км, как планировалось, а на 9 км. Такое отклонение вызвано необычной конфигурацией южной границы хозяйства (рис. 3), исключившей 2 участка из площади страты №1. Плановая длина учетной трассы в стратах не рассчитывается и, по определению равна ширине территории по точкам пересечения трассой правой и левой границ хозяйства. Фактическая длина трассы в каждой страте (l_N) устанавливается после привязки трассы к территории. Выбранная для привязки и оборудования трасса с точками начала и конца на боковых границах хозяйства сохраняется в форматах, совместимых с навигатором, например *gpx*.

Создание файлов учетных трасс. По эскизу полигонов страт с линиями трасс учета рисуем полигон границы каждой страты в программе SASPlanet. Установив курсор на полигоне, щелчком правой клавиши мыши вызываем контекстное меню, в нем находим пункт «Информация о метке», в открытом списке информации для подтверждения правильности выбора читаем и записываем – «страта № …, площадь страты». Нанесение границ страты на карту территории позволяет правильно разместить трассу учетного маршрута в страте. Площадь суши страт и длина учетной трассы заносится в ведомость (табл. 4).

Таблица 4 – **Ведомость стратификации учетной территории /**
Table 4 – **Statement of stratification of the accounting territory**

Название хозяйства: ОГБУ КГООХ
Площадь – 134,9 тыс. га; Расчетный норматив длины маршрута – 0,9 км/тыс. га территории /
Name of the hunting ground: OGBU KGOOH
Area – 134.9 thousand hectares; Estimated route length standard – 0.9 km/thousand hectares of territory

Регион: Костромская обл. / Region: Kostroma region				*Административный район / Administrative region*	
Руководитель хозяйства: ФИО; E-mail: / Head of the hunting area: full name; Email:				*Адрес: 156012. г. Кострома, ул. Озерная, 67 / Address: 156012. Kostroma, st. Ozernaya, 67*	
Страта / Strata			*Файлы учетных трасс: Имя/Тип/Размер / Accounting trace files: Name/Type/Size*	*№№ маршрутов / № of routes*	*Длина маршрута, км**/ Route length, km*
№	*площадь, тыс. га*/ area, thous. hectares*	*плановая длина трассы, l, км*/ planned length of the route, l, km*			*Расчетная / Estimated l ≈ 0, 33 L, km, Actual = 7÷18 km. ∑l = L*
1	29,6	34,71	Трасса 1 /gpx/ 3002/ Route 1 /gpx/ 3002	1,1	11,6
				1,2	11,6
				1,3	11,5
2	35,95	31,48	Трасса 2//gpx/2558 258 / Route 2 /gpx/2558 258	2,1	10,5
				2,2	10,5
				2,3	10,48
3	38,01	27,70	Трасса 3/ gpx/ 2277 / Route 3/ gpx/ 2277	3,1	9,23
				3,2	9,23
				3,3	9,24
4	32,1	29,98	Трасса 4/ gpx/ 2417 / Route 4 / gpx/ 2417	4,1	10,0
				4,2	10,0
				4,3	9,98
Итого / Total	135,66[1]	123,87	-	-	10,32

Примечания: [1]Разница между площадью хозяйства (134,9 тыс. га) и общей площадью страт (135,66 тыс. га) методикой стратификации не предусматривается. Одно из значений ошибочное;
*Заполняется после создания карты трасс в стратах; **Заполняет охотпользователь /
Notes: [1]The difference between the farm area (134.9 thousand hectares) and the total area of strata (135.66 thousand hectares) is not provided for by the stratification methodology. One of the values is wrong;
* Filled in after creating a map of tracks in strata; **To be completed by the owner of the hunting grounds.

Нарисованные в программе SASPlanet (в одной из карт, в частности Navitel) полигоны страт используются при создании файлов плановых учетных трасс, с упорядоченным местоположением. Создание файлов и карт учетных трасс необходимо для работы по привязке их на местности. Файл каждой учетной трассы сохраняется в формате *gpx*, пригодном для использования в навигаторе GARMIN GPSMAP 62s (62).

Подготовка файлов учетных трасс для загрузки в навигатор. Для загрузки файлов формата *gpx* в GPS-навигаторы типа Garmin используется фирменное программное обеспечение Garmin BaseCamp. Файлы загружаются в программу через меню *Файл → Открыть*, и отображаются на закладке <Треки>. После загрузки файлов рекомендуется для удобства пользования задать для каждого трека понятное имя через меню *Правка → Трек-свойства → Имя.* Имя трека должно состоять из названия хозяйства и номера страты (номер учетной трассы должен быть идентичным номеру страты). Для выгрузки трека компьютер соединяется с навигатором кабелем. Используя меню *Передача → Отправить на устройство,* а на навигаторе – двойным нажатием кнопки «меню» открыть «Главное меню», в котором курсором выбрать окно «Менеджер треков» – нажать кнопку «Enter». Откроются папки треков: 1. Текущий трек. 2. Архив. Текущий трек

удалить. Архив очистить от не используемых в работе файлов и загрузить в него поочередно файлы плановых учетных трасс.

Инструкция по привязке учетной трассы. Привязка трассы к плановому треку выполняется в 2 этапа: камеральный и полевой.

На камеральном этапе используется знание местности работниками хозяйства, с помощью которых по карте хозяйства с нарисованными трассами предварительно уточняется соответствие местоположения трассы на карте требованиям (табл. 3, рис. 2). Детально уточняется удовлетворительны ли доступность, проходимость, подъездные пути, возможность проезда на снегоходе и т. п. по каждой трассе. Выясняется наличие мостов через водотоки, при отсутствии мостов – возможность переправы (крутизна берегов, прочность ледового покрытия), возможность использования дорог и просек, идущих в попутном направлении, возможность проехать по лесу без дорог и просек. На рисунок трассы каждой страты вносятся сделанные поправки. Для конкретизации трассы и проверки актуальности редактирования камерального этапа пользователь переходит к прокладке маршрутов на местности.

На полевом этапе привязки трассы файл редактируемой трассы открывается в навигаторе Garmin: выбирается «Архив» – находится нужный файл – кнопкой «Enter» открывается список команд для выбранной трассы – находим «Внести в избранные» – нажать «Quit» – откроется страница папок трасс, в которой находим надпись «Выбранная трасса» – выделяем курсором и нажимаем «Enter» – появится список команд, курсором выбираем «Просмотр карт» – «Enter» – откроется карта трассы с названием и подписью внизу «СТАРТ», готовая для навигации. При продвижении по плановой учетной трассе пешком или на транспортном средстве корректировка ведется по скорректированной трассе на бумажной карте. Уточняется линия трассы, подбирается путь, не требующий больших затрат на удаление растительности, обходятся стороной большие завалы, непроходимые и непригодные для прокладывания трассы участки. По ходу корректировки трек записывается и сохраняется в памяти Garmin под номером редактируемой трассы. При проведении работ по прочистке трассы местоположение привязанного к местности трека определяется по навигатору или сохранившимся следам. После принятия трассы на постоянное использование, ее местоположение визуализируется с помощью расчистки от подроста и подлеска, вешкования, затесок, окрашивания стволов деревьев и т.п. Главным ориентиром остается трек учетной трассы в памяти ПК и навигатора. Трассы оборудуются гатями, лежневками, мостами, указателями. Используются метки из светоотражающих материалов. Число и длина отдельных маршрутов, расположенных на трассе учета программой обработки, не регламентируется. Оптимальная длина одного маршрута находится в диапазоне 9-14 км. Согласно методике, суммарная длина маршрутов в страте не превышает длину учетной трассы, т. к. маршруты в страте располагаются по линии учетной трассы. Способ расположения маршрутов на постоянной учетной трассе дает возможность для уменьшения длины конкретного маршрута, показывающего минимальную плотность, как это рекомендовал делать Г. Коли [12]. Имя маршрута составляется из названия хозяйства (КГООХ), № страты, № маршрута. По результатам стратификации территории хозяйства создается карта размещения учетных трасс (рис. 3) и ведомость стратификации учетной территории (табл. 4), в которой имя файла учетной трассы используется при загрузке файлов в навигатор, значения площади страт вносятся в программу обработки в специально созданную в ней табличную форму, а имя маршрута учетчик заносит в регистратор в начале учета.

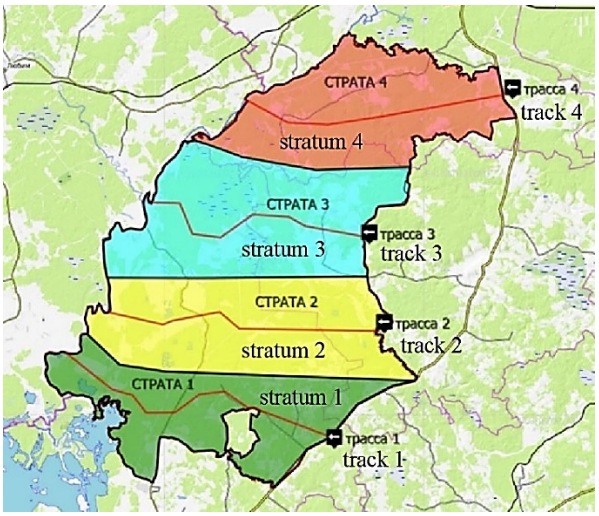


Рис. 3. **Карта стратификации территории КГООХ (- точка начала учетной трассы на пересечении с восточной границей хозяйства, более доступной, чем западная граница, проходящая по реке) /**

Fig. 3. **Stratification map of the territory KGOOH (- the starting point of the survey route at the intersection with the eastern boundary of the farm, which is more accessible than the western boundary, which runs along the river)**

Заключение. Литературные сведения по теме выборочных методов оценки численности и практике зимнего маршрутного учета охотничьих животных по следам, а также собственные материалы экспериментальных учетов и обработки полученных данных свидетельствуют об актуальности разработки технологии стратификации территории охотничьих хозяйств как способа конкретизации мест размещения учетных маршрутов и определения площади экстраполяции расчетных значений плотности. Созданные универсальная схема размещения учетных трасс и система оригинальных алгоритмов, обеспечивают унифицированный порядок расчета основных параметров учета и стандартизацию учетных работ. Простота, техническая и материальная доступность исполнения технологии стратификации предоставляют каждому охотпользователю возможность создать в своих угодьях оптимальные условия для корректной оценки численности охотничьих животных. Вопрос о допустимости применения прямолинейных однонаправленных маршрутов в стандартной методике ЗМУ потребует дополнительного изучения в том случае, если не будет сделан переход на группировку выборки по уровню линейной плотности, используемой в улучшенной методике ЗМУ.

Список литературы

1. Русанов Я. С. Ошибки маршрутного учёта. Охота и охотничье хозяйство. 1986;(12):6-7.

2. Дунишенко Ю. М. Учеты и просчеты. Охота и охотничье хозяйство. 2010;(12):18-19.

3. Глушков В. М., Росляков В. В., Рослякова А. В. Улучшенная методика зимнего маршрутного учета, реализованная в программном комплексе по регистрации и обработке данных маршрутного учета численности охотничьих животных. Киров, 2022. 84 с.

4. Формозов А. Н. Формула для количественного учета млекопитающих по следам. Зоологический журнал. 1932;11(2):66-69.

5. Приклонский С. Г. Инструкция по зимнему маршрутному учету охотничьих животных. Методы учета охотничьих животных в лесной зоне: тр. Окского государственного заповедника. Рязань: изд-во «Московский рабочий» Рязанское отделение, 1973. Вып. IX. С. 51-62.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=28336036 EDN: XWCADJ

6. Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в России. М.: ФГБНУ «Центрохотконтроль», 2021. 55 с.

7. Глушков В. М. О стандартизации маршрутов для учета лося. Вестник охотоведения. 2004;1(2):195-200.

8. Глушков В. М. Расслоение выборочных данных учета численности диких животных по линейной плотности. Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: мат-лы XIV Всеросс. научн.-практ. конф. (6-8 декабря 2016 г.). Киров: ООО «Радуга-Пресс», 2016. С. 257-261.
Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=28080256 EDN: XQMMKL

9. Глушков В. М., Кантор Г. Я., Суханова М. С. К познанию количественной оценки сезонных перемещений лосей. Научный, информационный и аналитический бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». №3, 2019. С. 41-57.

10. Кокрен У. Методы выборочного исследования. Перевод с англ. И. М. Сонина. Под. ред. А. Г. Волкова. Предисл. Н. К. Дружинина. М.: «Статистика», 1976. 440 с.

11. Граков Н. Н. История организации учетов охотничьих животных в России. В кн.: Учеты и современное состояние ресурсов охотничьих животных. Киров, 2003. С. 4-8.

12. Коли Г. Анализ популяций позвоночных. Пер. с англ. Е. П. Крюковой. Под ред. А. Д. Базыкина. М.: Мир, 1979. 362 с. Режим доступа: https://reallib.org/reader?file=484778&pg=1

13. Глушков В. М. Уменьшение норматива длины учетного маршрута с помощью двойного расслоения выборки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(2):85-89.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.85-89 EDN: XMFYKD

14. Катуркина Л. Е. Норма линейного маршрута и пропорциональность пересеченных им типов угодий. Вопросы лесного охотоведения: сб. научн. тр. М., 1979. С. 99-105.

References

1. Rusanov Ya. S. Route accounting errors. *Okhota i okhotnich'e khozyaystvo*. 1986;(12):6-7. (In Russ.).

2. Dunishenko Yu. M. Accounting and miscalculations. *Okhota i okhotnich'e khozyay-stvo*. 2010;(12):18-19. (In Russ.).

3. Glushkov V. M., Roslyakov V. V., Roslyakova A. V. Improved winter route accounting methodology implemented in the software package for registration and processing of route accounting data for the number of hunting animals. Kirov, 2022. 84 p.

4. Formozov A. N. Formula for quantitative accounting of mammals by footprints. *Zoologicheskiy zhurnal*. 1932;11(2):66-69. (In Russ.).

5. Priklonskiy S. G. Instructions for winter route accounting of hunting animals. Methods of accounting for hunting animals in the forest zone: tr. Oka State Reserve. Ryazan': *izd-vo «Moskovskiy rabochiy» Ryazanskoe otdelenie*, 1973. Iss. IX. pp. 51-62. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=28336036

6. Methodological recommendations on the organization, conduct and processing of winter route accounting of hunting animals in Russia. Moscow: *FGBNU «Tsentrokhotkontrol'»*, 2021. 55 p.

7. Glushkov V. M. About standardization of routes for moose accounting. *Vestnik okhotovedeniya* – Bulletin of hunting science. 2004;1(2):195-200. (In Russ.).

8. Glushkov V. M. Stratification of sample data on the number of wild animals by linear density. Biodiagnostics of the state of natural and natural-man-made systems: Proceedings of the XIV All-Russian scientific and practical conference (December 6-8, 2016). Kirov: *OOO «Raduga-Press»*, 2016. pp. 257-261.
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=28080256

9. Glushkov V. M., Kantor G. Ya., Sukhanova M. S. To the knowledge of quantitative estimation of seasonal movements of moose. /Scientific, Informative and analitical bulletin "Use end protection of natural resources of Russia". N 3. 2019, pp. 41-57.

10. Kokren U. Methods of selective research. *Perevod s angl. I. M. Sonina. Pod. red. A. G. Volkova. Predisl. N. K. Druzhinina*. Moscow: *«Statistika»*, 1976. 440 p.

11. Grakov N. N. The history of the organization of accounting of hunting animals in Russia. In the book: Accounting and the current state of resources of hunting animals. Kirov, 2003. pp. 4-8.

12. Koli G. Analysis of vertebrate populations. *Per. s angl. E. P. Kryukovoy. Pod red. A. D. Bazykina*. Moscow: *Mir*, 1979. 362 p. URL: https://reallib.org/reader?file=484778&pg=1

13. Glushkov V. M. The reduction of the standard of census route length using double lamination of sample. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(2):85-89. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.85-89

14. Katurkina L. E. The norm of a linear route and the proportionality of the types of land crossed by it. Questions of forest hunting: collection of scientific tr. Moscow, 1979. pp. 99-105.

Сведения об авторах

✉ **Глушков Владимир Михайлович,** доктор биол. наук, научный сотрудник, заслуженный работник охотничьего хозяйства России, руководитель и ответственный исполнитель проекта «Улучшенная методика зимнего маршрутного учета, реализованная в программном комплексе по регистрации и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, 79, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8066-6969, e-mail: v.m.glushkov@yandex.ru

Соловьев Вячеслав Альбертович, кандидат биол. наук, ученый секретарь, зав. аспирантурой, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, 79, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-4365-9772

Шевнина Мария Сергеевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, 79, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2210-2265

Information about authors

✉ **Vladimir M. Glushkov,** DSc in Biological Science, researcher, Honored Worker of the Russian hunting industry, head and responsible executor of the project "Improved methods of winter route accounting, implemented in the software package for registration and processing of data from winter route registration of game animals", Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, st. Preobrazhenskaya, 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vniioz43@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8066-6969, e-mail: v.m.glushkov@yandex.ru

Vyacheslav A. Solovyev, PhD in Biological Science, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, st. Preobrazhenskaya, 79, Kirov, Russian Federation, 610000,
e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-4365-9772**

Maria S. Shevnina, PhD in Biological Science, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, st. Preobrazhenskaya, 79, Kirov, Russian Federation, 610000,
e-mail: vniioz43@mail.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2210-2265**

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.306-316
УДК 631.171

(cc) BY

Разработка способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени

© 2023. Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка✉
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Цель исследования – разработать и провести испытания на работоспособность способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени. Разработаны схема испытательного стенда, на котором установлена трехмерная камера оптического модуля для получения трехмерных снимков в системе цифровой бонитировки вымени молочных коров; математическая модель для определения биометрических параметров вымени и сосков, а именно: длины, диаметра, углов наклона в двух плоскостях сосков, расстояния между сосками, рассеяния от оптического модуля до сосков – всего 26 параметров. Разработан алгоритм определения биометрических параметров вымени. Эксперименты со стендом и обработка натурных данных проводили в отделе животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2022 г. Дополнительно производился сбор натурных данных на фермах: ИП КФХ Сирота (Московская область), ФГУП Григорьевское (Ярославская область), ООО «Ферма Рябцево» (Калужская область) – всего было собрано натурного материала по 192 животным. Работоспособность разработанного способа проверена на искусственном вымени. Установлен режим работы при определении биометрических параметров сосков: скорость получения трехмерных карт вымени – 5 кадров за 1 секунду; угол поворота камеры относительно сосков в плоскости 0ZX равен 30°. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что измеренные результаты по 24 параметрам из 26 имеют ошибку меньше 5 %, диагональное расстояние между сосками имеет ошибку 6,0 %, боковое левое расстояние между передним и задним рядами сосков имеет ошибку 12,7 %. Ошибка измерения расстояния до кончика соска находится в пределах от -0,004 до -0,007 м по оси Z.

Ключевые слова: *цифровая система оценки экстерьера коров, оценка вымени, линейные параметры, оптический модуль*

Благодарности: работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук – МК-2513.2022.4.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Павкин Д. Ю., Юрочка С. С. Разработка способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):306-316.
DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.306-316

Поступила: 28.10.2022 Принята к публикации: 16.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Development of a method for using an optical module to determine the biometric parameters of the udder

© 2023. Dmitriy Yu. Pavkin, Sergey S. Yurochka✉
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The purpose of the study is to develop and test the performance of the method of using the optical module for determining the biometric parameters of the udder. There have been developed: a scheme of test stand with a 3-D camera of the optical module for taking 3-D images in the system of digital valuation of the udder of dairy cows; a mathematical model for determining the biometric parameters of the udder and teats, namely: length, diameter of the angles of inclination in two planes of the teats, distance between the teats, scattering from the optical module to the teats, 26 parameters in total. An algorithm for determining the biometric parameters of the udder has been developed. Experiments with the stand and processing of field data were carried out in the Animal Husbandry Department of the FSAC VIM in 2022. In addition, field data were collected on farms: IP KFH Sirota (Moscow region), FSUE Grigorievskoye (Yaroslavl region), Farm Ryabtsevo LLC (Kaluga region) – in total, natural material for 192 animals has been collected. The performance of the developed method was tested on an artificial udder. The mode of operation in determining the biometric parameters of the teats was carried out: the speed of obtaining three-dimensional udder maps was 5 frames per 1 second. The angle of rotation of the camera relative to the teats in the 0ZX plane was 30 °. According to the results of the experimental studies it has been established that the measured results for 24 out of

26 parameters have an error of less than 5%, the diagonal distance between the teats has an error of 6.0 %, the lateral left distance between the anterior and posterior row of teats has an error of 12.7 %. The measurement error of the distance to the tip of the teats is in the range from -0.004 m to -0.007 m on the Z axis.

Keywords: *digital cow exterior assessment system, udder assessment, linear parameters, optical module*

Acknowledgments: the work was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation for the right to receive a grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – Candidates of Science-MK-2513.2022.4

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

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

***For citation*:** Pavkin D. Yu., Yurochka S. S. Development of a method for using an optical module to determine the biometric parameters of the udder. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):306-316. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.306-316

Received: 28.10.2022 Accepted for publication: 16.03.2023 Published online: 25.04.2023

Сегодня вектор технического оснащения постиндустриального общества определяется переходом на автоматизированное цифровое производство. Важным элементом цифрового производства являются автономные промышленные автоматизированные и роботизированные системы, разрабатываемые для оптимизации ручного труда, создания современных рабочих мест, уменьшения влияния человеческого фактора, повышения плановых показателей по производству животноводческой продукции [1].

В России перед животноводческой отраслью стоит проблема увеличения доли отечественного племенного скота и улучшения генетического потенциала крупного рогатого скота мясных и молочных пород (Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы – отраслевые подпрограммы: «Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота специализированных мясных пород» и «Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота молочных пород» (далее, программа КНТП). Также указом Президента РФ от 21 июля 2016 г. №350 – «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» поставлена задача улучшения производства племенной продукции.

Сегодня на фермах автоматизированы и роботизированы большинство процессов, кроме линейной оценки экстерьера, которая до сих пор проводится вручную несмотря на то, что технологии, позволяющие автоматизировать процесс – есть. Ручная оценка экстерьера с последующей обработкой информации, аналитикой и прогнозированием – долгий, сложный процесс, который часто нарушается из-за человеческого фактора [2, 3, 4]. Из-за того, что ручной процесс сложный, не приносящий фермеру доход здесь и сейчас – на большинстве ферм линейная оценка экстерьера животных упразднена или совершается с регистрацией недостоверных данных (на основании собственных наблюдений). Еще одна причина упразднения процесса оценки экстерьера – нехватка квалифицированных специалистов, отчего фермеры распределяют человеческий ресурс на более приоритетные жизнеобеспечивающие задачи на ферме. По статистике (в т. ч. и на основании собственных наблюдений) только около 10 % выпускников продолжают работу по специальности [5], что создает дефицит кадров.

Для того чтобы возобновить на фермах процесс линейной оценки экстерьера, дать исследователям, научным институтам, племенным службам и племенным хозяйствам инструмент, позволяющий автоматически оценивать экстерьер животных с дальнейшим прогнозированием в отделе животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатывается система комплексной линейной оценки экстерьера молочных коров [3, 4, 5]. В данной работе рассматривается подсистема (а точнее способ подсистемы) оценки экстерьера животных, который отвечает за получение линейных параметров вымени. Исследования проводятся в соответствии с требованиями Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2025 года, утвержденной Президентом РФ, в которой одним из приоритетных направлений развития отечественной науки является разработка цифровых производственных технологий, искусственного интеллекта и машинного обучения.

Авторами ранее был разработан опытный образец комплекса для проведения цифровой бонитировки [6, 7]. В частности, был разработан ручной манипулятор, задачей которого являлось перемещение трехмерной камеры под вымя животного с целью получения снимка

и оценки линейных параметров сосков. По результатам испытаний, система оказалась недостаточно эффективной, поэтому нужна серьезная доработка ручного манипулятора, что, в свою очередь, увеличивает стоимость системы, ее сложность, создает дополнительные риски и затраты при эксплуатации.

Авторами было принято решение изменить подход в области сканирования вымени для получения трехмерных снимков, отказавшись от использования манипулятора и изменить подходы, на которых основывается подсистема оценки вымени.

Цель исследования – разработать и провести испытания на работоспособность способа применения оптического модуля для определения биометрических параметров вымени.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать схему испытательного стенда, на котором устанавливается трехмерная камера оптического модуля для определения биометрических параметров вымени.

2. Разработать математическую модель определения биометрических параметров вымени.

3. Произвести сбор натурных данных с последующими экспериментальными исследованиями работоспособности способа определения биометрических параметров вымени, к которым относятся следующие 26 линейных показателей:

- длина, диаметр, углы наклонов в двух плоскостях – по каждому соску определяется 4 параметра, всего по соскам индивидуальных биометрических параметров определяется 16;
- расстояния между передними и задними рядами сосков, боковые и диагональные расстояния между сосками, расстояния до кончиков сосков – 10 параметров.

Научная новизна – обоснованные рациональные параметры установки оптической системы для получения трехмерных снимков в системе цифровой бонитировки вымени молочных коров.

Материал и методы. Для определения актуальности направления научных исследований в работе используется опытный образец системы цифровой бонитировки, 3D TOF-камера, данные по проведению бонитировочных работ, лазерные нивелиры, макет коровы черно-пёстрой породы в масштабе 1:1, разработанное программное обеспечение. Эксперименты со стендом и обработка натурных данных проводили в отделе животноводства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2022 г. Дополнительно производился сбор натурных данных на фермах: ИП КФХ Сирота (Московская область); ФГУП Григорьевское (Ярославская область); ООО «Ферма Рябцево» (Калужская область) – всего натурного материала было собрано по 192 животным.

Результаты и их обсуждение. Модернизации подвергается существующий опытный образец. Фотография испытательного стенда, схема стенда представлены на рисунке 1, на котором изображены: 1 – стойловое ограждение системы бонитировочной оценки; 2, 3, 4 – варианты положения трехмерной камеры через каждые 0,1 м от предыдущего варианта установки; 2.1, 3.1, 4.1 – лучи, проецируемые на исследуемые объекты; 5 – центральная ось коровы (хребет); 6 – вымя; 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 – соски коровы; узел А – визуализация положения оптического модуля; узел В – вымя коровы; J – расстояние между передними сосками; I_l и I_r – боковые расстояния между передним и задним рядами сосков; K – расстояние между задними сосками; *, ** – DG_1 и DG_2 диагональные расстояния между сосками.

Выбор оптимального местоположения оптического модуля зависит от нескольких факторов. Первый фактор – определение точки в станке, где на минимальном удалении от исследуемого объекта (вымени и сосков) будет соблюдена безопасность установки оптического модуля (под безопасностью понимается невозможность животного контактировать с оптическим модулем). Такой точкой является место или в ограждении станка, или за его пределами.

Второй фактор – минимальное фокусное расстояние трехмерной камеры до исследуемого объекта, установленное заводом-производителем, которое позволит иметь наименьшее расстояние между пикселями на трехмерной карте, формируя тем самым меньшее количество шумов и более плотную сетку пикселей. В данном случае, при использовании трехмерной камеры O3D 303 минимальное фокусное расстояние составляет 0,3 м. Однако в ходе работы замечено, что для получения качественных трехмерных карт в 99 % случаев – необходимо минимальное фокусное расстояние увеличить до 0,35 м.

Третий фактор – установленный заводом изготовителем апертурный угол обзора камеры в плоскости 0ZX (вид сверху). При использовании трехмерной камеры O3D 303 апертурные углы составляют 60 х 45°.

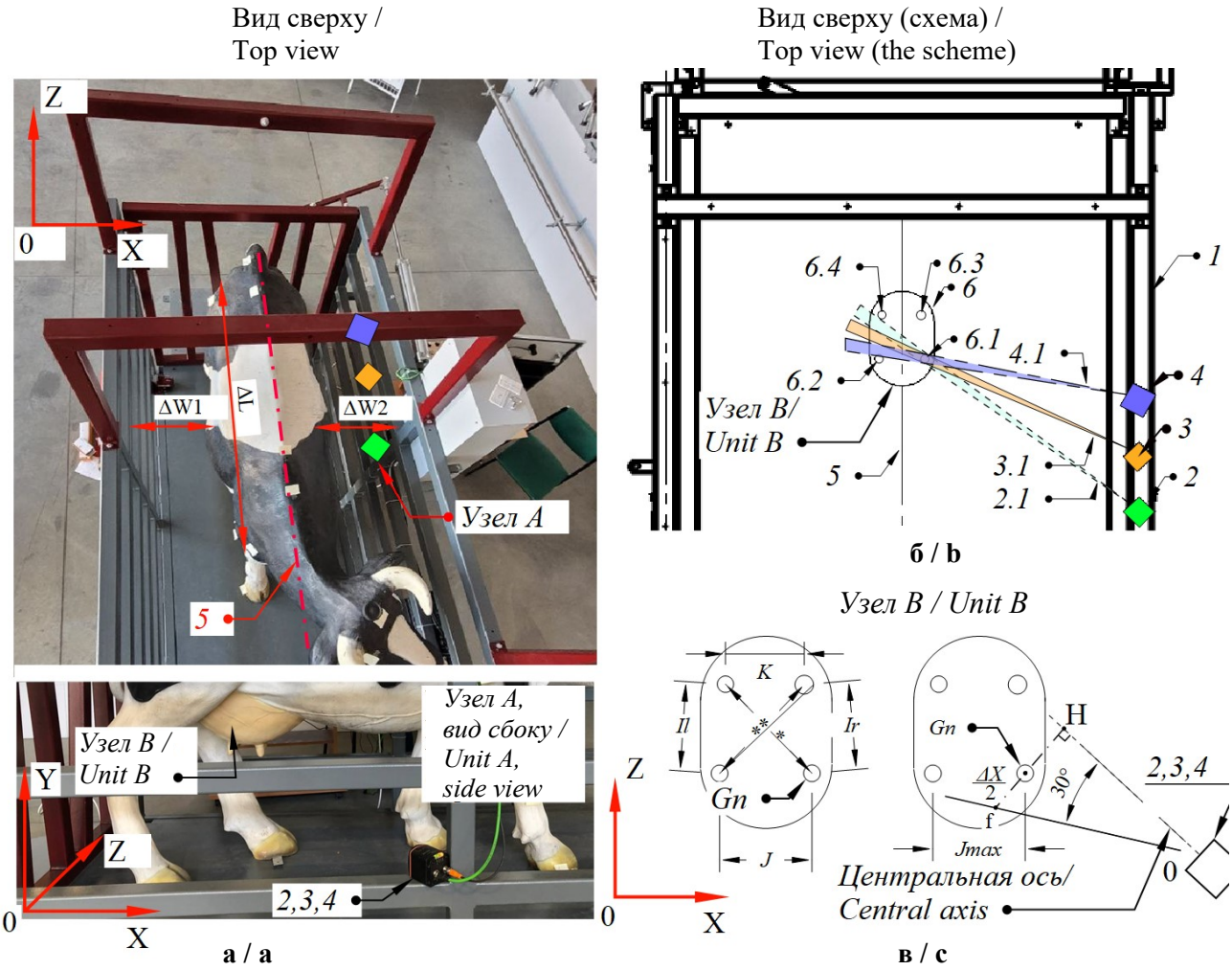


Рис. 1. **Испытательный стенд (а), схема стенда (б), параметры установки оптического модуля (в) /**
Fig. 1. **Test stand (a), stand scheme (b), installation parameters of the optical module (c)**

Четвертый фактор – движение животного в станке. На рисунке 1 показаны два направления движения ΔW_1, ΔW_2, ΔL. В изготавливаемой нами конструкции сумма допустимого диапазона движения по ΔW_1, ΔW_2 составляет не более 0,05 м, движение по ΔL – 0,05 м.

Для определения оптимального местоположения оптического модуля были определены 3 положения (рис. 1, б, позиции 2, 3, 4). Расстояния между положениями составляло 0,1 м. Угол поворота оптического модуля относительно центральной линии станка у позиций 2 – 30°, 3 – 45°, 4 – 50°. На рисунке схематично показаны лучи (2.1, 3.1, 4.1), которые достигают объекта исследования. Видно, что местоположение оптического модуля 3 и луч 3.1 достигают исследуемого объекта, но передний сосок 6.1 не перекрывает задний сосок 6.4. Остальные положения оптического модуля частично перекрывают задние соски, что говорит о невозможности установки в выбранных конфигурациях.

Рассмотрим подробнее узел B на рисунке 1, в. H – это точка, являющаяся пересечением центральной оси камеры с перпендикулярным опущением из точки G_n на центральную ось камеры. В данном случае выбран передний сосок G_n, так как он является ближним соском переднего ряда от камеры, именно от него зависит положение крайней точки f, учитывающей возможность перемещения коровы. Данный расчет гарантирует, что задние соски будут находиться в зоне обзора камеры при учете движения ±0,05 м. Для нахождения расстояния $|0H|$ рассмотрим прямоугольный треугольник $0fH$. Половиной апертурного угла камеры, установленного заводом-изготовителем, является угол 30°. Из этого следует отношение:

$$\frac{Jmax}{2} + \Delta X = |0H| * \tan 30°, \quad (1)$$

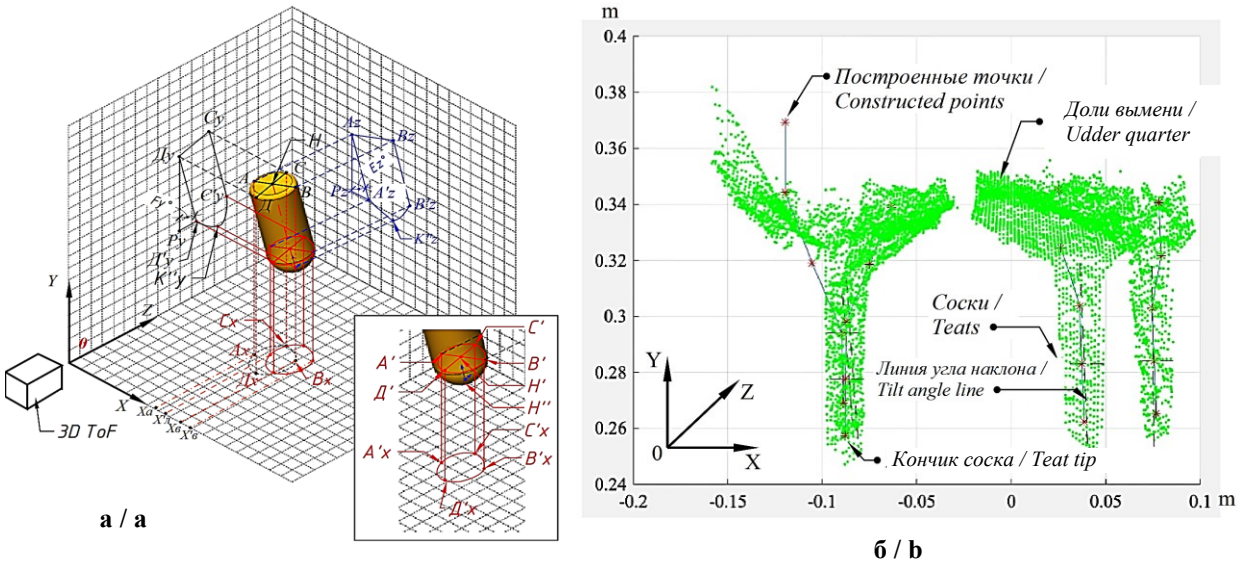
где $\frac{J\,max}{2}$ – половина максимального расстояния между передними сосками, мм;

ΔX – виртуальное смещение коровы в станке в плоскости 0ZX, м.

Таким образом,

$$|0H| = \frac{\frac{Jmax}{2}+\Delta X}{\tan 30°}. \quad (2)$$

Далее была разработана математическая модель определения биометрических параметров вымени с установленных ракурсов съемки и разработан программный код, который интерполирует распознанное вымя в облаке точек, полученных с трехмерной камеры, по методу локального полинома, с максимальной точностью до 8 порядка [8, 9, 10]. На рисунке 2 показана математическая модель определения линейных параметров соска (а) и результат отработки алгоритма определения биометрических параметров вымени (б).



а / a **б / b**

Рис. 2. **Математическая модель (а) и результат автоматического определения биометрических параметров вымени разработанным способом (б) /**

Fig. 2. **Mathematical model (a) and the result of automatic determination of udder biometric parameters by the developed method (b)**

В соответствии с рисунком 2 определение длины соска находится по выражению:

$$|HH''| = |AA'| + |H'H''|,$$
$$\text{где } |AA'| = \sqrt{(x_A - x_{A'})^2 + (y_A - y_{A'})^2 + (z_A - z_{A'})^2}; \quad (3)$$
$$|H'H''| = \sqrt{\left(x_{H'} - x_{H''}\right)^2 + (y_{H'} - y_{H''})^2 + (z_{H'} - z_{H''})^2}.$$

Определение диаметра соска находится по выражению:

$$|ДС| = \sqrt{(x_с - x_д)^2 + (y_с - y_д)^2 + (z_с - z_д)^2}. \quad (4)$$

Для расчета угла наклона сосков необходимо на плоскости 0YZ рассчитать синус угла F_y^o прямоугольного треугольника:

$$sin\ F_y^o = \frac{Д'_у P_у}{Д_у Д'_у}, \quad (5)$$

где $Д'_у P_у$ находится по формуле:

$$Д'_у P_у = \sqrt{(x_{Д'_у} - x_{P_у})^2 + (y_{Д'_у} - y_{P_у})^2 + (z_{Д'_у} - z_{P_у})^2}. \quad (6)$$

Для расчета угла наклона сосков необходимо на плоскости 0XY рассчитать синус угла E_z^o прямоугольного треугольника:

$$sin\ E_z^o = \frac{A'_z P_z}{A_z A'_z}, \tag{7}$$

где $A'_z P_z$ находится по формуле:

$$A'_z P_z = \sqrt{(x_{A'_z} - x_{P_z})^2 + (y_{A'_z} - y_{P_z})^2 + (z_{A'_z} - z_{P_z})^2}. \tag{8}$$

Биометрические параметры вымени определили в соответствии с рисунком 3.

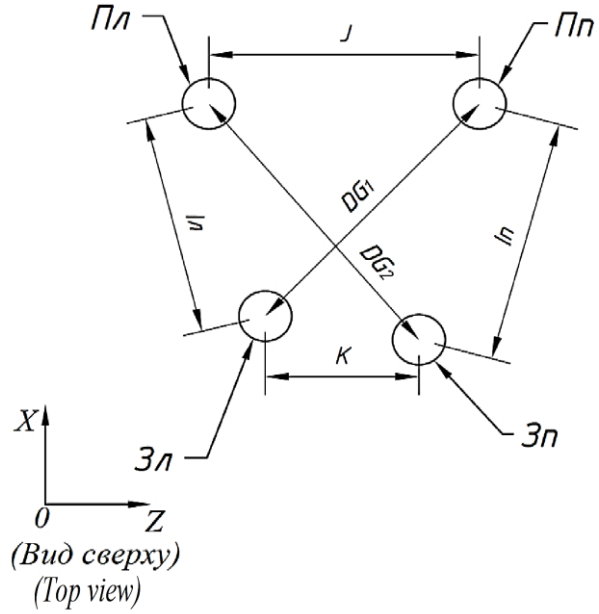


Рис. 3. **Определение длины, диаметра, расстояния между сосками: *Пл* – передний левый сосок; *Пп* – передний правый сосок; *Зл* – задний левый сосок; *Зп* – задний правый сосок; *J* – межосевое расстояние между передними сосками; K – межосевое расстояние между задними сосками; *Iл* – межосевое расстояние между передним левым и задним правым сосками; *Iп* – межосевое расстояние между передним правым и задним правым сосками; DG_1 – диагональ между передним левым и задним правым соском; DG_2 – диагональ между передним правым и задним левым сосками /**

Fig. 3. **Determining the length, diameter, distance between the teats: *Pl* – anterior left teat; *Rp* – anterior right teat; *Zl* – posterior left teat; *Zp* – posterior right teat; *J* – center distance between the front teats; K – center distance between the rear teats; *Il* – center distance between the anterior left and posterior right teat; *Ip* – center distance between the anterior right and posterior right teat; DG_1 – diagonal between anterior left and posterior right teats; DG_2 – diagonal between anterior right and posterior left teat**

Линейные параметры вымени определяются по выражению:

$$\begin{cases} J = \sqrt{(x_{П_л} - x_{П_п})^2 + (y_{П_л} - y_{П_п})^2 + (z_{П_л} - z_{П_п})^2}; \\ K = \sqrt{(x_{З_л} - x_{З_п})^2 + (y_{З_л} - y_{З_п})^2 + (z_{З_л} - z_{З_п})^2}; \\ Iп = \sqrt{(x_{П_л} - x_{З_л})^2 + (y_{П_л} - y_{З_л})^2 + (z_{П_л} - z_{З_л})^2}; \\ Iл = \sqrt{(x_{П_п} - x_{З_п})^2 + (y_{П_п} - y_{З_п})^2 + (z_{П_п} - z_{З_п})^2}; \\ DG1 = \sqrt{(x_{З_л} - x_{П_п})^2 + (y_{З_л} - y_{П_п})^2 + (z_{З_л} - z_{П_п})^2}; \\ DG2 = \sqrt{(x_{П_л} - x_{З_п})^2 + (y_{П_л} - y_{З_п})^2 + (z_{П_л} - z_{З_п})^2}. \end{cases} \tag{9}$$

Математическая модель является неотъемлемой частью разработанного алгоритма определения биометрических параметров вымени (рис. 4). Режим работы установлен 5 кадров за 1 секунду, угол поворота камеры относительно сосков в плоскости 0ZX равен 30°.

Был разработан алгоритм, обеспечивающий функционирование системы, который представлен на рисунке 4. Проверку работоспособности алгоритма определения биометрических параметров вымени, теоретическое обоснование установки оптического модуля, математические модели, обученную нейронную сеть на 6 тысячах снимков испытали на лабораторном стенде.

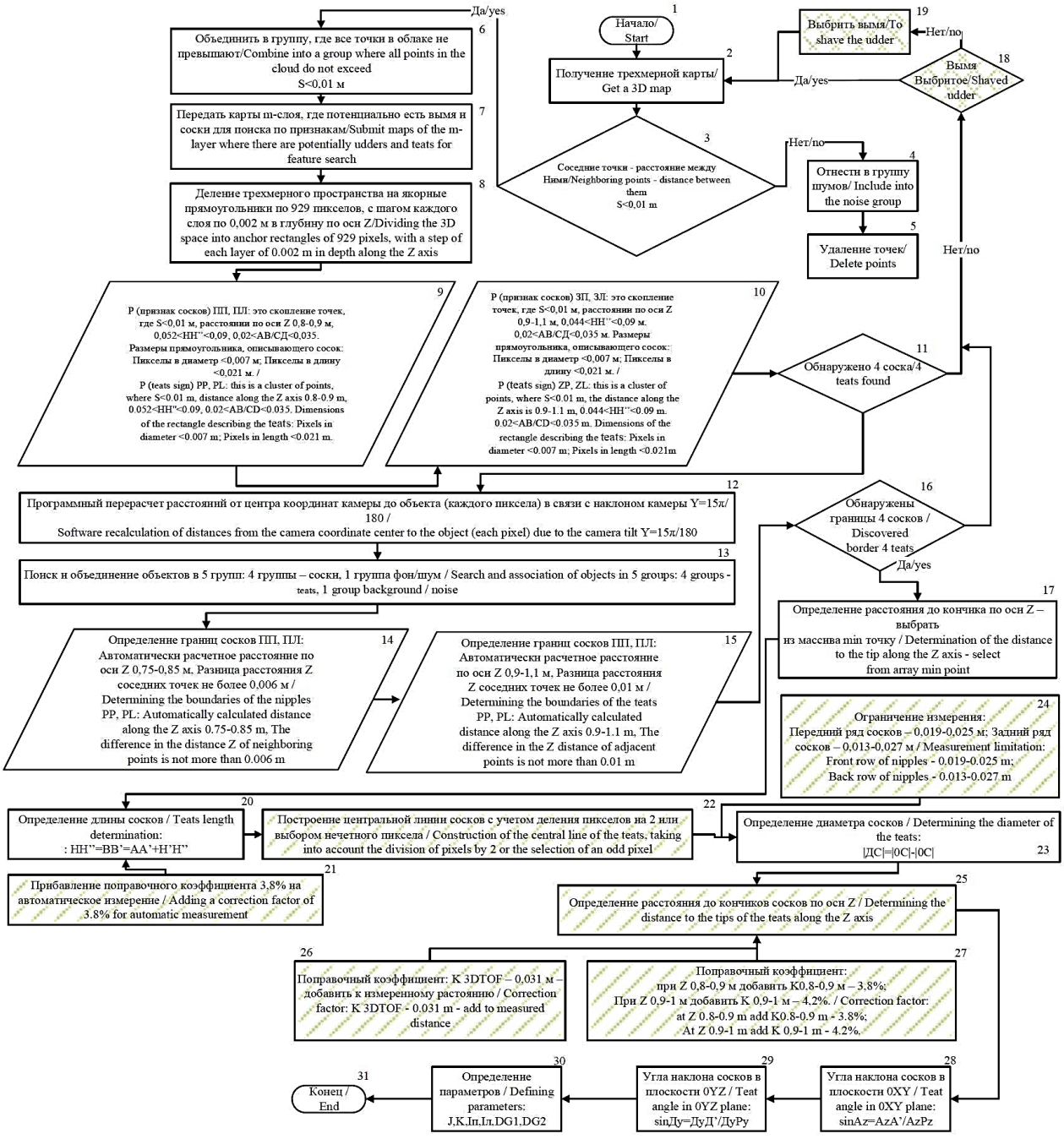


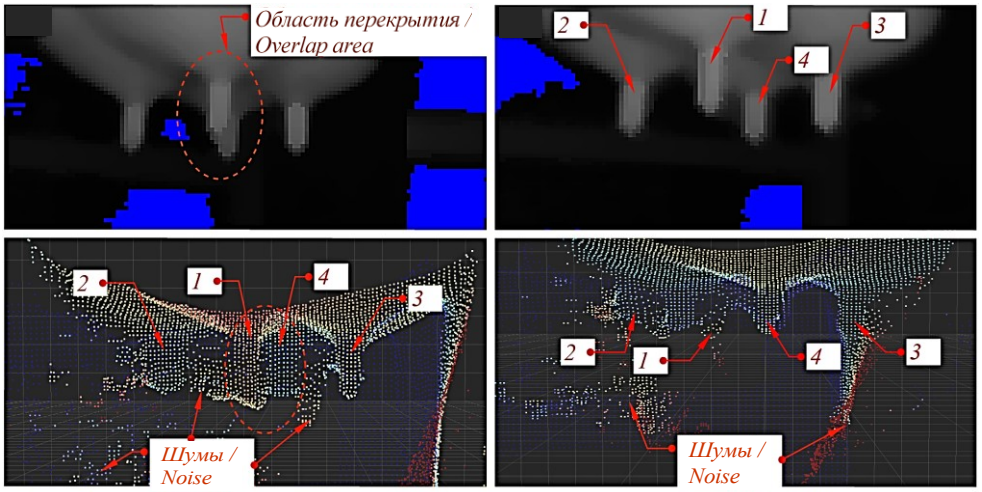
Рис. 4. **Алгоритм определения биометрических параметров вымени /**
Fig. 4. **Algorithm for determining the biometric parameters of the udder**

На рисунке 5, а при определении параметров искусственного вымени видно, что сосок 1 перекрывает сосок 2, дополнительно присутствуют множественные скопления шумов, которые вызваны ярким солнечным светом. В положении (рис. 5, б) из черно-белого снимка видно, что все соски четкие, не перекрывают друг друга. На трехмерной карте положения, хорошо различимы соски под номерами 3, 4, которые находятся в правой стороне вымени – ближние к оптическому модулю. При анализе трехмерных карт применятся алгоритм с шумоподавлением, методы, позволяющие «очищать» и обрабатывать трехмерные карты [11, 12].

Анализируя рисунок 5, можно сделать вывод, что оптический модуль следует устанавливать в соответствии с положением 2 (рис. 1).

Для проверки результатов стендовых испытаний и теоретических исследований

финальные экспериментальные исследования системы цифровой бонитировки вымени на работоспособность проводили на 10 животных в совхозе им. Ленина Московской области. Установка оптического модуля производилась в соответствии с разработанными теоретическими моделями. Были получены трехмерные карты и черно-белые снимки (рис. 6).



а / a **б / b**

Рис. 5. **Трехмерные карты искусственного вымени: а – положение оптического модуля 2 (рис. 1); б – положение оптического модуля 3 (рис. 1); 1 – Пп – передний правый сосок; 2 – Пл – передний левый сосок; 3 – Зп – задний правый сосок; 4 – Зл – задний левый сосок**

Fig. 5. **3D artificial udder maps: a – position of the optical module 2 (Fig. 1); b – position of optical module 3 (fig. 1); 1 – Pp – anterior right teat; 2 – Pl – anterior left teat; 3 – Zp – rear right teat; 4 – Zl –rear left teat**

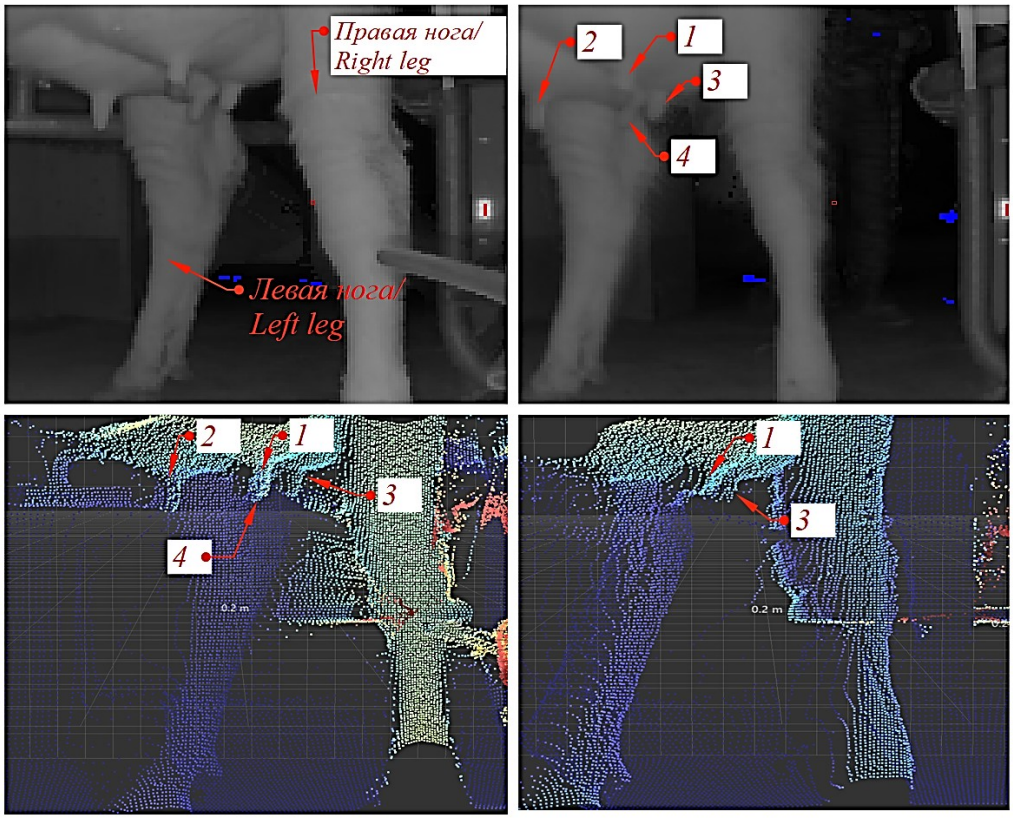


Рис. 6. **Черно-белые снимки и трехмерные карты с экспериментальных исследований, натурные данные: 1 – Пп – передний правый сосок; 2 – Пл – передний левый сосок; 3 – Зп – задний правый сосок; 4 – Зл – задний левый сосок /**

Fig. 6. **Black and white images and 3D maps from experimental studies, field data: 1 – Pp – anterior right teat; 2 – Pl – anterior left teat; 3 – Zp – rear right teat; 4 – Zl –rear left teat**

В ходе экспериментальных исследований столкнулись с проблемой, что дальние соски идентифицируются с ошибкой до 32 %. Передние соски идентифицируются с ошибкой до 7 %.

Анализируя линейные размеры идентифицированных сосков, установлены следующие значения: оценка длины 4 сосков колеблется в пределах от 0 до 0,002 м (2,6 % погрешность от фактического размера сосков). Определение диаметра сосков колеблется в пределах от 0 до 0,001 м (4,2 % погрешность от фактического размера сосков). Возникающие ошибки критически не повлияют на работоспособность, например, роботизированного манипулятора при одевании доильных стаканов (если система применяется в роботизированных доильных установках), также система не повлияет критически при автоматическом подборе сосковой резины, таким образом – результат идентификации считается положительным.

При определении расстояния до кончиков сосков ошибка составила от 0,002 до 0,008 м – не более 1 % при фактическом расстоянии от оптического модуля до задних сосков 0,095 м. Ошибка в измерении расстояния составила меньше 7 %.

Угол наклона в двух плоскостях был оценен с ошибкой от 0 до 1 . Измерения углов наклона сосков считаются результативными.

При измерении диагональных параметров, расстояний между сосками – параметр DG_2 (рис. 3 – диагональное расстояние между сосками) имеет ошибку 6 %, параметр $I_л$ (боковое левое расстояние между передним и задним рядами сосков) имеет ошибку 12,7 %, которая является совокупностью погрешности по всем ранее измеренным параметрам, для ее минимизации необходимо снижать ошибку измерения всех ранее измеряемых параметров. Остальные параметры имеют ошибку от 0 до 1 %.

Несмотря на то, что дальние соски идентифицируются с ошибкой до 32 %, передние соски идентифицируются с ошибкой до 7 %. параметр $I_л$ имеет ошибку более 7 %.

Полученные экспериментальные данные по размерам вымени также сравнивались с результатами, полученными другими исследователями [13, 14]. Измеренные автоматически параметры вымени соответствовали усредненным характеристикам вымени в исследованиях других ученых и находятся в пределах, м:

- длина передних сосков 0,052-0,071;
- длина задних сосков 0,044-0,062;
- расстояние между:
  - передними сосками 0,156-0,246;
  - задними сосками 0,047-0,132;
  - боковыми сосками 0,070-0,146;
- диаметр сосков передних 0,019-0,025;
- диаметр сосков задних 0,013-0,027;
- угол отклонения от вертикали до 4 °в любую сторону.

Таким образом, проведя проверку разработанного способа, следует несколько заключений. Для уменьшения возникающих шумов из-за солнечного света следует применять трехмерные времяпролетные камеры с длиной волны 940 нм, это позволит не только минимизировать влияние слабовидимого испускаемого света, для снижения возможного дискомфорта животных и человека (характерно для трехмерной камеры 03D 303 с длиной волны 850 нм), но и повысит устойчивость к солнечному свету, т. к. систему по определению биометрических параметров вымени планируется применять и вне помещения.

Оптический модуль с высокой ошибкой до 32 % идентифицирует задний ряд сосков, относительно оптического модуля. Улучшить ситуацию возможно при добавлении второго оптического модуля, тем самым установив оптические модули с двух сторон, тогда каждый оптический модуль работает только по передним рядам сосков. При добавлении второго оптического модуля необходимо будет внести изменения в математическую модель расчёта расстояний между сосками (рис. 3). Добавление второго оптического модуля повысит стоимость системы, но снизит количество неудачных идентификаций, снизит время нахождения животного в стойле.

Выводы. 1. Обоснованы рациональные параметры установки оптического модуля относительно вымени и сосков. Модуль может устанавливаться под углом 30° в плоскости 0ZX относительно вымени и сосков.

2. Передние соски идентифицируются с ошибкой до 7 %, дальние соски – с ошибкой до 32 %. Улучшение ситуации возможно при добавлении второго оптического модуля, при этом необходимы изменения математической модели расчета расстояний между сосками, что требует дальнейших исследований.

3. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что измеренные результаты по 24 параметрам из 26 имеют ошибку меньше 5 %, параметр DG_2

(диагональное расстояние между сосками) имеет ошибку 6 %, параметр $I_л$ (боковое левое расстояние между передним и задним рядами сосков) имеет ошибку 12,7 %. Ошибка измерения расстояния до кончика соска находится в пределах от -0,004 до -0,007 м по оси Z.

Список литературы

1. Кирсанов В. В., Цой Ю. А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020;14(3):27-32.
DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32 EDN: EKAHHX

2. Харченко А. В., Фейзуллаев Ф. Р., Лепёхина Т. В. Экстерьерные особенности казахской белоголовой породы крупного рогатого скота. Главный зоотехник. 2022;(6-1):62-64.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48575944 EDN: HCHSJB

3. Ситдиков Ф. Ф., Цой Ю. А., Зиганшин Б. Г. Основные направления и проблемы цифровизации агропромышленного комплекса. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019;14(3(54)):112-115.
DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db97473887137.67106533 EDN: EWHGNE

4. Чиндалиев А. Е., Калимолдинова А. С., Алипов А. У., Баймуканов А. Д. Использование линейной оценки экстерьера коров. Главный зоотехник. 2019;(8):32-38.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41098038 EDN: HYCFXA

5. Горбунова О. С., Бражник М. В. Человеческий капитал сельского хозяйства и проблемы его роста. Аграрное образование и наука. 2018;(1):4. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36525559 EDN: YPLFDN

6. Павкин Д. Ю., Юрочка С. С., Хакимов А. Р., Довлатов И. М. Разработка интеллектуальной весовой платформы для проведения бонитировочных работ. Агротехника и энергообеспечение. 2022;12(13):52-58.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49525733 EDN: FYHNKE

7. Юрочка С. С., Хакимов А. Р., Довлатов И. М., Владимиров Ф. Е., Павкин Д. Ю., Матвеев В. Ю. Применение метода определения биометрических параметров вымени лактирующих животных с использованием сверточной нейронной сети. Вестник НГИЭИ. 2022;(9(136)):30-40.
DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-30-40 EDN: XLPHLO

8. Захарова А. А., Бондарев А. Е., Коростелёв Д. А., Подвесовский А. Г. Построение трехмерных визуальных карт обобщенного вычислительного эксперимента. Scientific Visualization and Visual Analytics. ГрафиКон 2022: 32-я Международ. конф. по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина. Рязань, 2022. С. 362-371.
Режим доступа: https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper_035.pdf

9. Иордан В. И. Методы коррекции последовательной линейной интерполяции для нахождения нулей функций и характеристического полинома матриц специального вида. Известия Алтайского государственного университета. 2018;(1(99)):92-98. DOI: https://doi.org/10.14258/izvasu(2018)1-16 EDN: YRHIYC

10. Миралиев О. О., Кудратов С. Г. Удаление шумов в трехмерных точечных облаках, построенных из световых полей. Big Data and Advanced Analytics. 2021;(7-1):284-286.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46482815 EDN: DMEEWD

11. Suslov S. O., Zhuravko N. S., Filatov R. A.,Uzbekov E. R., Berkimbay O. S., Mukhatzhanov A., Sorokin A. S., Fagereva V. A. Improving the Dynamic Characteristics of a Seismic Image by Applying Modern Methods of Interpretation Support and Processing on the Example of a Field in Eastern Siberia. Geomodel. 2020. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020;2020:1-6. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202050097

12. Шардаков В. М., Запорожко В. В., Парфёнов Д. И., Извозчикова В. В. Разработка адаптивного модуля визуализации окружающего пространства для облачной образовательной среды. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018): мат-лы одиннадцатой Международ. конф. В двух томах. Т. II. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2018. С. 376-378.
Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36620714 EDN: YRCNFZ

13. Кадралиева Б. Т., Косилов В. И. Влияние генотипа коров-первотелок на морфометрические показатели и функциональные свойства вымени. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2021;(2(56)):132-136. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46179806 EDN: LBGMOU

14. Кибкало Л. И., Сидорова Н. В. Влияние линейной принадлежности коров на их морфологические и функциональные свойства вымени. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021;(3(21)):52-56.
Режим доступа: https://bsaa.edu.ru/upload/2021/3%202021.pdf

References

1. Kirsanov V. V., Tsoy Yu. A. Trends in the Development of Biotechnical Systems in Animal Husbandry. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020;14(3):27-32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32

2. Kharchenko A. V., Feyzullaev F. R., Lepekhina T. V. The exterior features of the Kazakh white-headed cattle. *Glavnyy zootekhnik* = Head of Animal Breeding. 2022;(6-1):62-64. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48575944

3. Sitdikov F. F., Tsoy Yu. A., Ziganshin B. G. Main directions and problems of digitalization of agricultural complex. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(3(54)):112-115. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db97473887137.67106533

4. Chindaliev A. E., Kalimoldinova A. S., Alipov A. U., Baimukanov A. D. the use of linear evaluation of body conformation of cows. *Glavnyy zootekhnik* = Head of Animal Breeding. 2019;(8):32-38. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41098038

5. Gorbunova O. S., Brazhnik M. V. Human capital of agriculture and problem of his growth. *Agrarnoe obrazovanie i nauka* = Agrarian education and science. 2018;(1):4. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36525559

6. Pavkin D. Yu., Yurochka S. S., Khakimov A. R., Dovlatov I. M. Development of an intelligent weighing platform for appraisal work. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2022;12(13):52-58. (In Russ.).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49525733

7. Yurochka S. S., Khakimov A. R., Dovlatov I. M., Vladimirov F. E., Pavkin D. Yu., Matveev V. Yu. Application of the method for determining the biometric parameters of the udder of lactating animals using a convolutional neural network. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2022;(9(136)):30-40. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-30-40

8. Zakharova A. A., Bondarev A. E., Korostelyov D. A., Podvesovskii A. G. Constructing of Three-dimensional Visual Maps of Generalized Computational Experiment. Scientific Visualization and Visual Analytics. GrafiKon 2022: The 32nd International Conference on Computer Graphics and Machine Vision, September 19-22, 2022, Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin. Ryazan', 2022. pp. 362-371.
URL: https://www.graphicon.ru/html/2022/papers/paper_035.pdf

9. Jordan V. I. Sequential linear interpolation correction methods used for finding zeros of functions and characteristic polynomials of matrices of a special form. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* = Izvestiya of Altai State University. 2018;(1(99)):92-98. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/izvasu(2018)1-16

10. Miraliev O. O., Kudratov S. G. Noise removal in three-dimensional point clouds constructed from light fields. Big Data and Advanced Analytics. 2021;(7-1):284-286. (In Belarus).
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46482815

11. Suslov S. O., Zhuravko N. S., Filatov R. A.,Uzbekov E. R., Berkimbay O. S., Mukhatzhanov A., Sorokin A. S., Fagereva V. A. Improving the Dynamic Characteristics of a Seismic Image by Applying Modern Methods of Interpretation Support and Processing on the Example of a Field in Eastern Siberia. Geomodel. 2020. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020;2020:1-6. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202050097

12. Shardakov V. M., Zaporozhko V. V., Parfenov D. I., Izvozchikova V. V. Development of an adaptive module of visualization of the surrounding space for a cloud-forming environment. The management of the development of large-scale systems (MLSD'2018): Proceedings of the 11th International. conf. In two volumes. Vol. II. Moscow: *Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN*, 2018. pp. 376-378.
URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36620714

13. Kadralieva B. T., Kosilov V. I. Influence of the genotype of cows on the morphometric indicators and functional properties of the udder. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. K. I. Skryabina*. 2021;(2(56)):132-136. (In Kyrgyzstan) URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46179806

14. Kibkalo L. I., Sidorova N. V. Influence of the cows' line belonging on the morphological and functional properties of their udder. *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaystvennoy biologii* = Actual issues in agricultural biology. 2021;(3(21)):52-56. (In Russ.). URL: https://bsaa.edu.ru/upload/2021/3%202021.pdf

Сведения об авторах

Павкин Дмитрий Юрьевич, кандидат техн. наук, ст. 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: http://orcid.org/0000-0001-8769-8365**

✉ **Юрочка Сергей Сергеевич**, кандидат техн. наук, ст. 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: http://orcid.org/0000-0002-2511-7526,** e-mail: yurochkasr@icloud.com

Information about the authors

Dmitriy Yu. Pavkin, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8769-8365

✉ **Sergey S. Yurochka**, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2511-7526, e-mail: yurochkasr@icloud.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.317-326
УДК 621.3

(cc) BY

Повышение энергоэффективности ветроустановки для зарядки аккумуляторов

© 2023. В. Г. Петько, И. А. Рахимжанова, Ю. А. Ушаков ✉, М. Б. Фомин, А. С. Байков, В. А. Пушко
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург, Российская Федерация

В статье изложена методика определения оптимальных значений угловой скорости и числа витков обмотки генератора на постоянных магнитах с приводом от ветротурбины, работающей в конкретных, по скоростному режиму ветра, условиях эксплуатации. Критерием оптимизации является максимум потенциала энергии, которая может быть направлена на зарядку аккумулятора. В качестве ограничивающих факторов приняты допустимые мощность генератора и ветротурбины, ток и напряжение зарядки аккумулятора. Ограничение предусмотрено путём подключения к выходу генератора балластного резистора. Развиваемая ветротурбиной мощность определяется с учётом коэффициента использования энергии ветра, зависящего от угловой скорости её вала и скорости ветра. Произведено сравнение двух вариантов ограничения мощности: путём ограничения угловой скорости аэродинамическими средствами и путём остановки ветротурбины. Отдача энергии на зарядку в том и другом случаях определяется с учётом распределения скоростей ветра, подчиняющемуся закону распределения вероятностей Вейбулла. В работе в качестве примера произведён расчёт возможной годовой выработки энергии для зарядки аккумулятора ёмкостью 200 А·ч напряжением 24 В от синхронного генератора с числом полюсов 48 с приводом от ветротурбины радиусом 2 м, работающей в местности со средней скоростью ветра 5 м/с. Результаты расчёта показали, что для принятых в примере параметров и условий эксплуатации ветроустановки максимальную годовую выработку энергии (3,3·10³ кВт·ч) наблюдали при оптимальных 11-ти витках обмотки на каждом из полюсов генератора. Отклонение числа витков от оптимального в ту и другую сторону в 2 раза приводит, при тех же габаритах ветроустановки, к снижению годовой выработки энергии в 3…5 раз, что является наглядным доказательством необходимости проведения подобного расчёта для каждой конкретной ветроустановки.

Ключевые слова: *мощность, синхронный генератор, электродвижущая сила, коэффициент мощности, энергия зарядки*

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации трехлетнего плана научно-исследовательских работ на 2022-2024 годы за счет средств ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» (протокол №3 Ученого совета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» от 22.10.2021 г.).

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

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

Для цитирования: Петько В. Г., Рахимжанова И. А., Ушаков Ю. А., Фомин М. Б., Байков А. С., Пушко В. А. Повышение энергоэффективности ветроустановки для зарядки аккумуляторов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):317-326. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.317-326

Поступила: 23.11.2022 Принята к публикации: 28.03.2023 Опубликована онлайн: 25.04.2023

Improving the energy efficiency of wind turbines for charging batteries

© 2023. Viktor G. Petko, Ilmira A. Rakhimzhanova, Yuriy A. Ushakov ✉, Maxim B. Fomin, Aleksey S. Baikov, Vladislav A. Pushko
Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russian Federation

The article describes the method for determining the optimal angular velocity and the number of turns of the generator winding on permanent magnets powered by a wind turbine operating in specific operating conditions according to the wind speed regime. The optimization criterion is the maximum potential of energy that can be used to charge the battery. The permissible power of the generator and wind turbine, current and battery charging voltage are accepted as limiting factors. The restriction is provided by connecting a ballast resistor to the generator output. The power developed by the turbine is determined taking into account the wind energy utilization factor, which depends on the angular velocity of its shaft and wind speed. Two variants of power limitation are compared: by limiting the angular velocity by aerodynamic means and by stopping the wind turbine. The return of energy to charging in both cases is determined taking into account the distribution of wind speeds, obeying the Weibull probability distribution law. As an example, the calculation of the possible annual power generation for charging a battery with a capacity of 200 A·h with a voltage of 24 volts from a synchron generator with a number of poles of 48 driven by a wind turbine with a radius of 2 meters, operating in an area with an average wind speed of 5 m/s. The calculation shows that for the parameters and operating conditions of the electrical installation used in the example, the maximum annual energy output (3.3 × 10³ kWh) is observed at optimal 11 turns of the winding at each of the poles of the generator. The deviation of the number of turns from the optimal one in both directions by 2 times leads, with the same dimensions of the wind turbine, to a decrease in annual energy output by 3...5 times, which is a clear proof of the need to carry out such a calculation for each specific wind turbine.

Key words: *power, synchronous generator, electromotive force, power factor, charging energy*

Acknowledgements: the work was carried out as part of the implementation of the three-year research plan of the Orenburg State Agrarian University for 2022-2024. The work was carried out at the expense of the funds of the Orenburg State Pedagogical University (Protocol No. 3 of the Academic Council of the Orenburg State Pedagogical University dated 10.22.2021).

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

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

For citations: Petko V. G., Rakhimzhanova I. A., Ushakov Yu. A., Fomin M. B., Baikov A. S., Pushko V. A. Improving the energy efficiency of wind turbines for charging batteries. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):317-326. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.317-326

Received: 23.11.2022 Accepted for publication: 28.03.2023 Published online: 25.04.2023

Бесперебойное электропитание потребителей от альтернативного источника энергии переменной непредсказуемой интенсивности, к одному из типичных примеров которого относится ветер, в принципе невозможно осуществить без использования или резервного традиционного источника энергии, или электрического аккумулятора [1, 2, 3]. При относительно небольшой (до нескольких кВт) мощности электропотребления второй вариант наиболее предпочтителен. Из всего многообразия конструктивных и принципиальных схем ветроэнергетических установок с аккумулированием электрической энергии следует выделить отличающиеся простотой технической реализации ветроустановки с применением синхронных генераторов с возбуждением от постоянных магнитов [4, 5, 6]. Несовпадение графиков выработки ветроустановкой электрической энергии и графиков её потребления является причиной работы аккумуляторов в режиме циклического заряда и разряда, а в некоторые моменты и перехода в буферный режим зарядки [7, 8, 9]. Так как синхронный генератор на постоянных магнитах лишен возможности регулирования развиваемой им электродвижущей силы (ЭДС) путём изменения магнитного потока его ЭДС, а, следовательно, и напряжение на выходе пропорционально угловой скорости приводного вала генератора и равной ей угловой скорости вала ветротурбины (при прямом их соединении). При параллельном подключении аккумулятора и синхронного генератора их ЭДС мало отличаются по величине [10]. А поскольку ЭДС заряженного и разряженного аккумулятора также отличаются всего лишь на несколько процентов, то угловая скорость генератора и ветротурбины будет во время работы оставаться практически постоянной при всех скоростях ветра[1, 2]. Это исключает возможность работы ветротурбины в режиме с максимальным использованием энергии ветра, предполагающем работу при оптимальной по указанному критерию угловой скорости, пропорционально изменяющейся скорости ветра [11].

Цель работы – определение рабочей угловой скорости ветротурбины и генератора, напрямую зависящей от числа витков обмотки генератора, при которой потенциально генератор при существующем в месте установки ветроагрегата распределении скоростей ветра мог отдавать на зарядку аккумулятора и питание потребителей максимальное количество энергии.

Новизна исследований – разработка методики определения оптимального числа витков обмотки генератора по критерию максимума энергии, которая потенциально может быть направлена на зарядку аккумулятора, при заданных параметрах аккумулятора, магнитной системы синхронного генератора на постоянных магнитах и ветротурбины, работающей в конкретных по скоростному режиму ветра условиях эксплуатации.

Материал и методы. Принципиальная схема ветроэнергетической установки для зарядки аккумуляторов изображена на рисунке 1[3].

Напряжение U_d, полученное путём выпрямления напряжения U_g синхронного генератора с помощью диодного моста VD1…VD6, поступает через диод обратного тока VD7 на вход аккумулятора GB1. Величина этого напряжения (действующее значение) является функцией угловой скорости ω вала генератора и числа витков W катушек генератора (здесь и далее по тексту под числом витков W катушки

[1]EC 60034-2-3 ed1.0, Rotating electrical machines. Part 2-3: Specific Test Methods for Determining Losses and Efficiency of Converter-Fed AC In-duction Motor, Geneva, Switzerland, November 2013. URL: https://webstore.iec.ch/publication/123

[2]EC 60034-30-2, Edition 1.0: Rotating Electrical Machines – Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code), Geneva, Switzer-land, February 2016. URL: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60034-30-2%7Bed1.0%7Den.pdf

[3]Разнообразные схемы зарядных устройств. Мои инструменты. 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: http://moy-instrument.ru/chertezhi-i-shemy/printsipialnye-shemy-zaryadnyh-ustrojstv-dlya-avtomobilnyh-akkumulyatorov.html (дата обращения: 03.10.2022).

генератора будем иметь в виду число витков W обмотки, выполненной в виде катушки на каждом из зубцов статора генератора):

$$U_d(\omega, W) = U_d(1,1)\,\omega W, \qquad (1)$$

где $U_d(1,1) = U_{d0} = 2{,}34E_0/\mathrm{Sin}(\pi/p)$[4] – размерный коэффициент пропорциональности, численно равный напряжению на выходе выпрямителя при $\omega = 1$ рад/с и $W = 1$, В·с/(вит·рад); E_0 – ЭДС в каждом витке обмотки при $\omega = 1$ рад/с, зависящая только от геометрических и физических параметров магнитной системы генератора, В·с/(вит·рад); p – число полюсов (зубцов) статора.

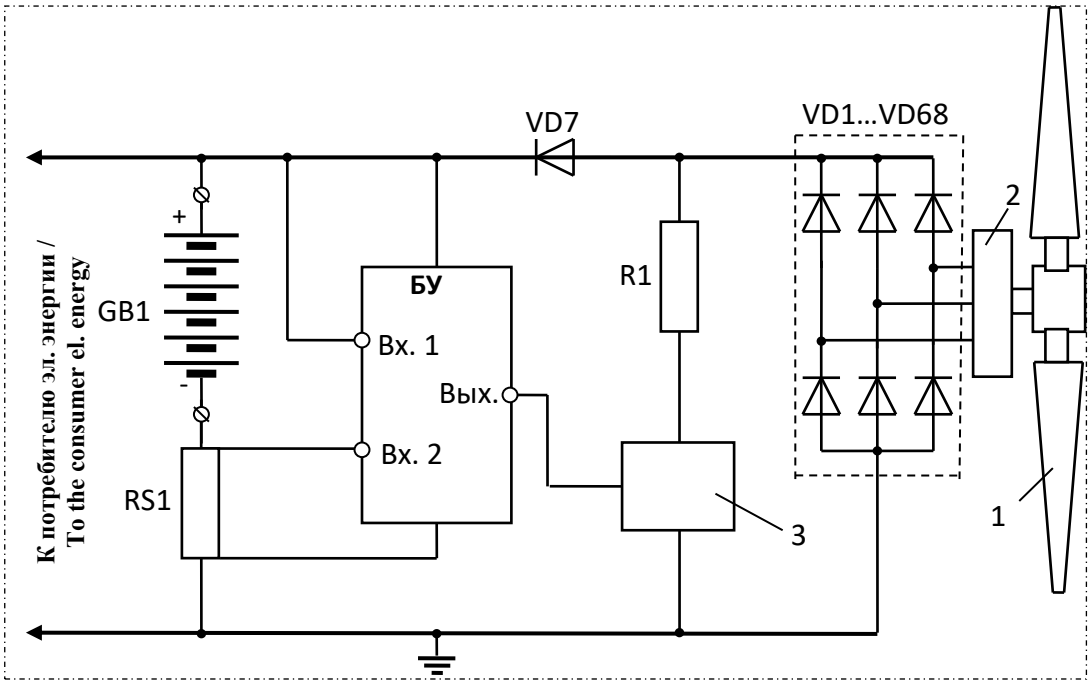


Рис. 1. **Принципиальная схема ветроагрегата: 1 – ветротурбина; 2 – трёхфазный синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов; VD1…VD6 – трёхфазный диодный мост Ларионова; R1 – нагрузочный резистор; VD7 – диод ограничения обратного тока; БУ – блок управления; 3 – ключ; RS1 – шунт измерительный; GB1 – аккумулятор /**

Fig. 1. **Schematic diagram of the wind turbine: 1 – wind turbine; 2 – three-phase synchronous generator with excitation from permanent magnets; VD1...VD6 – Larionov three-phase diode bridge; R1 – load resistor; VD7 – reverse current limiting diode; BU – control unit; 3 – key; RS1 – measuring shunt; GB1 – battery**

В результате напряжение на выходе выпрямителя определяется:

$$U_d(\omega, W) = U_{d0}\omega W = \frac{2.34E_0}{\sin(\pi/p)}\omega W. \qquad (2)$$

На вход 2 блока управления поступает сигнал величины тока зарядки аккумулятора, а на вход 1 – сигнал величины напряжения на клеммах, характеризующей степень его зарядки. Блок управления формирует поступающий на вход ключа 3 сигнал подключения к выходу генератора нагрузочного резистора R1, чем предотвращает превышение тока зарядки аккумулятора выше допустимой величины I_{zd}, а также исключает превышение напряжения U_a на клеммах аккумулятора, выше напряжения при полной его зарядке, равного для 12-ти вольтового аккумулятора 13,7 В [12]. Как в том, так и в другом случаях (ввиду незначительности внутреннего сопротивления аккумулятора), напряжение на его клеммах и равное ему напряжение на выходе выпрямителя U_d с достаточной степенью точности можно считать постоянным. Следовательно, можно считать постоянной в период зарядки (в рабочий период) и соответствующую этому напряжению рабочую угловую скорость ω_p генератора, а следовательно, и ветротурбины. В то же время она должна быть такой, чтобы в условиях реального распределения скоростей ветра в месте установки ветроагрегата при одних и тех же (заранее заданных) параметрах ветротурбины, аккумулятора и магнитной системы генератора обеспечивался бы максимальный потенциал энергии для передачи непосредственно на зарядку аккумулятора. Для синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов,

[4]Трёхфазная мостовая схема (Ларионова) выпрямителя. Mydocx. 2015 г. URL: https://mydocx.ru/1-10121.html (дата обращения: 22.10.2022).

в котором связь между числом витков и угловой скоростью при постоянном напряжении – однозначна, выполнение этих двух условий будет обеспечено при оптимальном, по указанному критерию, числе витков (W_{opt}) катушек генератора.

При известной номинальной ёмкости $Q_{ан}$ в ампер-часах установленного аккумулятора допустимая мощность зарядки в ваттах запишется:

$$P_{zd}(\omega, W) = U_d(\omega, W)I_{zd} = U_d(\omega, W)K_d Q_{ан}, \quad (3)$$

где $K_d = I_{zd}/Q_{ан}$ – кратность допустимого тока зарядки по отношению к ёмкости аккумулятора, равная по рекомендации различных источников [12, 13, 14] от 0,1 до 0,3, $ч^{-1}$.

При работе генератора на аккумулятор неизменное напряжение на клеммах аккумулятора равно напряжению на выходе выпрямителя, которое обеспечивается генератором при соответствующей этому напряжению неизменной рабочей скорости вала:

$$U_a = U_d(\omega_p, W) = U_{d0}\omega_p W = \frac{2{,}34E_0}{\sin(\pi/p)}\omega_p W. \quad (4)$$

Рабочую угловую скорость генератора в функции числа витков на каждом из зубцов магнитной системы статора определяем:

$$\omega_p(W) = \frac{U_a}{U_{d0}W} = \frac{U_a \sin(\pi/p)}{2{,}34E_0 W}, \quad (5)$$

тогда минимальная скорость ветра, при которой напряжение $U_d(\omega, W)$ на выходе выпрямителя достигнет величины U_a и начнётся зарядка аккумулятора, составит:

$$V_0(W) = \frac{R\omega_p(W)}{Z_c} = \frac{RU_a \sin(\pi/p)}{2{,}34Z_c W}, \quad (6)$$

где R – радиус ветротурбины, м; Z_C – синхронная быстроходность ветротурбины, отн. ед.

Мощность ветротурбины, развиваемая ею при зарядке аккумулятора, в функции скорости ветра V и числа витков W определяется:

$$P_t(V, W) = \zeta(V, \omega_p(W))P_w(V) = \zeta(V, W)P_w(V), \quad (7)$$

где $\zeta(V, W)$ – коэффициент использования мощности ветрового потока [14] в функции скорости ветра и числа витков, равный нулю при $V < V_0(W)$; $P_w(V) = 0{,}5\rho SV^3$ – мощность воздушного потока через ометаемую поверхность ветротурбины, Вт; ρ – плотность воздуха, равная 1,29 кг/м^3; $S = \pi \cdot R^2$ – площадь поверхности, ометаемой ветротурбиной, м^2.

При этом, если мощность ветротурбины увеличивается до допустимой мощности P_{zd} зарядки аккумулятора, блок управления путём периодического подключения и отключения нагрузочного резистора R1 ограничивает её на уровне P_{zd}. При достижении превышения допустимой по условиям нагрева мощности генератора P_{gd} блок управления останавливает ветротурбину или ограничивает её мощность на уровне P_{gd} аэродинамической системой ограничения.

Непосредственно на зарядку аккумулятора с выхода генератора будет поступать несколько меньшая мощность:

$$P(V, W) = P_t(V, W)\cdot\eta, \quad (8)$$

где η – КПД генератора.

Таким образом, зная мощность, можно определить и потенциал энергии за год эксплуатации, который ветроустановка может отдать на зарядку аккумулятора при различном числе витков W катушки:

$$w(W) = \int_{V0(W)}^{V} P(V, W)f(V)dV, \quad (9)$$

где $f(V)$ – функция распределения скоростей ветра в месте эксплуатации ветроустановки.

Число витков катушки, при котором наблюдается максимум данной энергии и будет его оптимальным значением.

Результаты и их обсуждение. Осуществим расчёт по изложенной методике ветроустановки, предназначенной для зарядки аккумулятора ёмкостью 200 А·ч напряжением 24 В. Расчёт осуществим в математической системе Mathcad[5].

Электродвижущая сила E_z заряженного аккумулятора равна 2·13,7 = 27,4 В. Приняв кратность K_d допустимого тока зарядки равной 0,1, определим допустимую мощность зарядки аккумулятора:

$$P_{zd} = K_d Q_a E_z = 0{,}1\cdot 200\cdot 27{,}4 = 548 \text{ Вт}. \quad (10)$$

Генератор синхронный трёхфазный с возбуждением от постоянных магнитов с числом полюсов (зубцов) статора p = 48 и допустимой (номинальной) мощностью P_{gd} = 700 Вт. В результате проведённого расчёта установлена величина ЭДС магнитной цепи генератора в расчёте на один виток катушки и один радиан в секунду угловой скорости ω генератора – E_0 = 0,0074 В. С учётом выражения (2) для данного генератора получим зависимость:

$$U_d(\omega, W) = \frac{2.34 \cdot E_0}{\sin\left(\frac{\pi}{p}\right)}\omega W = \\ = \frac{2.34\cdot 0{,}0074}{\sin(\pi/48)}\omega W = 0{,}265\omega W. \quad (11)$$

Графически эта зависимость для наглядности проиллюстрирована на рисунке 2.

[5]Черняк А. А., Черняк Ж. А. Математические расчеты в среде Mathcad: учебное пособие для вузов. Под общ. ред. А. А. Черняк. 3-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2022. 163 с. URL: https://urait.ru/bcode/492750

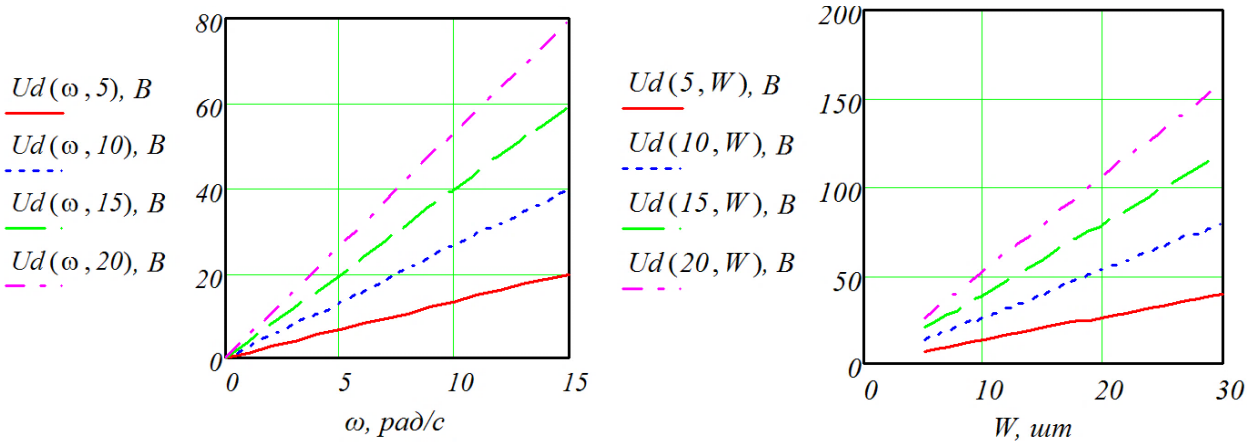


Рис. 2. **Зависимости напряжения на выходе выпрямителя от угловой скорости и числа витков /**
Fig. 2. **The dependence of the voltage at the output of the rectifier on the angular velocity and on the number of turns**

В соответствии с уравнением (5) рабочая угловая скорость данного генератора, работающего на заданный аккумулятор в функции числа витков, составит:

$$\omega_p(W) = \frac{U_a \sin(\pi/p)}{2{,}34E_0W} = \\ = \frac{27{,}4\sin(\pi/48)}{2{,}34\cdot 0{,}0074W} = \frac{103{,}5}{W}. \quad (12)$$

Как следует из полученного выражения, она однозначно связана с числом витков W и обратно пропорциональна их числу.

Принято, что привод генератора осуществляется от ветротурбины с горизонтальной осью вращения, имеющей радиус 2 м и синхронную быстроходность 9 (R = 2, Z_c = 9). Тогда, с учётом выражения (6) минимальная скорость ветра в функции числа витков, с которой начинается зарядка аккумулятора при заданных его параметрах, а также магнитной системы генератора и ветротурбины, вычисляется:

$$V_0(W) = \frac{RU_a \sin(\pi/p)}{2{,}34Z_cW} = \\ = \frac{2\cdot 27{,}4\sin(\pi/48)}{2{,}34\cdot 9W} = \frac{23}{W}. \quad (13)$$

В виде графиков зависимости $V_0(W)$ и $\omega_p(W)$ представлены на рисунке 3.

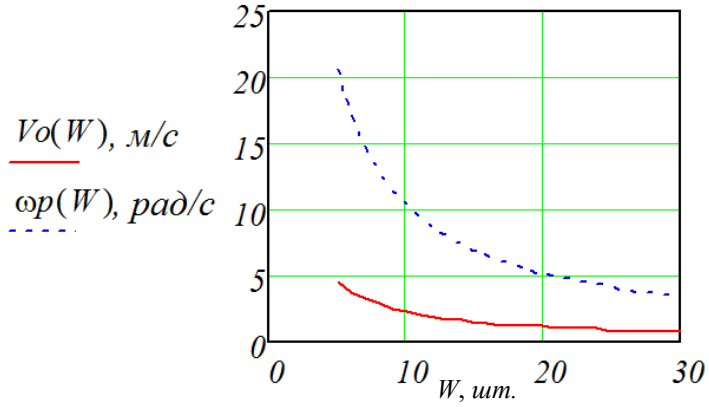


Рис. 3. **Зависимости рабочей начальной скорости ветра и рабочей угловой скорости вала генератора от числа витков его катушки /**
Fig. 3. **Dependences of the working initial wind speed and the working angular velocity of the generator shaft on the number of turns of the generator coil**

Примечательно, что соотношение между рабочей угловой скоростью и минимальной скоростью ветра при любых параметрах составных узлов ветрозарядной установки не зависит от числа витков катушки генератора. В частности, для рассматриваемой установки оно будет равно:

$$\omega_p(W) / V_0(W) = \frac{\omega_{p(W)}}{V_{0(W)}} = \frac{103.5/W}{23/W} = 4{,}5. \quad (14)$$

Для ветротурбины, принятой для привода генератора, зависимость коэффициента использования мощности ветрового потока ζ` от скорости ветра V и угловой скорости ω ветротурбины, заданной графически, аппроксимирована семью членами ряда Фурье[6] [11]. Максимальная погрешность аппроксимации при этом составила 0,7 %. Ввиду того, что

[6]Быстрицкий Г. Ф., Гасангаджиев Г. Г., Кожиченков В. С. Общая энергетика. Основное оборудование: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2022. 416 с. URL: https://urait.ru/bcode/490895

мощность зарядки аккумулятора равна нулю при скорости ветра меньше начальной $V_0(W) = \omega_P(W)R/Z_c$ (рис. 3), при которой начинается заряд аккумулятора, принимается $\zeta(V, W) = 0$ при $V < V_0(W)$ и $\zeta(V, \omega) = \zeta`(V, W)$ при $V > V_0$.

На рисунке 4 для сопоставления приведены зависимости мощности ометаемого турбиной воздушного потока ($Pw(V) = 0{,}5\rho SV^3$) и мощности ветротурбины $P(V, W) = \zeta(V, W)\,P_w(V)$ при числах витков катушки 2 и 3, которую потенциально она может развивать при зарядке аккумулятора. Для оценки степени влияния на мощность ветротурбины представлены кривые зависимости коэффициента использования мощности ветрового потока от скорости ветра в масштабе $3\cdot10^5$:1 при этих же числах витков катушки генератора $\xi t(V, W) = 3\cdot10^5\xi(V, W)$.

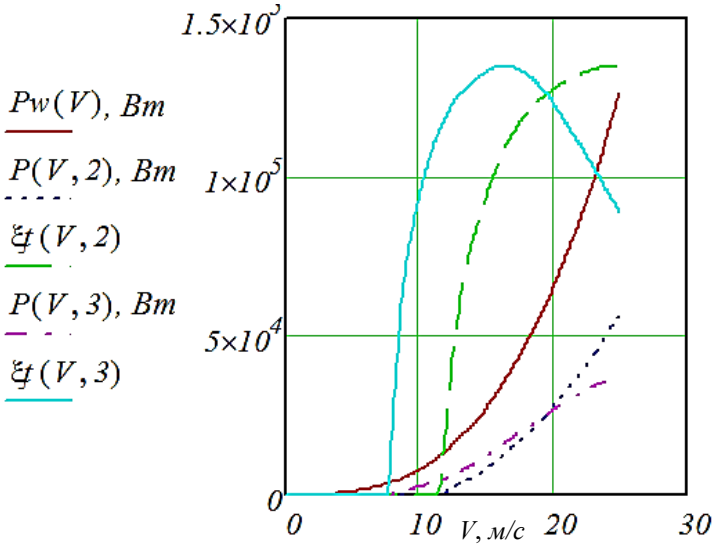


Рис. 4. **Зависимость коэффициента использования мощности ветрового потока и мощности ветротурбины, которую она может развивать на зарядку аккумулятора, от скорости ветра /**
Fig. 4. **The dependence of the wind flow power utilization factor and the power of the wind turbine, which it can develop to charge the battery, on the wind speed**

Однако реально мощность ветротурбины ограничивается допустимой мощностью зарядки аккумулятора P_{zd} или допустимой по условиям нагрева мощностью генератора P_{gd} [4, 15]. При этом возможны четыре случая.

А. Допустимая мощность генератора меньше допустимой мощности зарядки аккумулятора ($P_{gd} < P_{zd}$).

1. Ветротурбина оснащена аэродинамической системой ограничения мощности.

При мощности ветротурбины $P(V, W) < P_{gd}$ на зарядку аккумулятора может развиваться мощность $P_1(V, W) = P(V, W)$, а при $P(V,W) > P_{gd}$ – $P_1(V,W) = P_{gd}$. В системе Mathcad: $P_1(V, W) := if(P(V, W) < P_{gd}, P(V, W), P_{gd})$.

2. Вместо ограничения мощности ветротурбины производится её остановка, например, путём короткого замыкания на выходе генератора.

При мощности ветротурбины $P(V, W) < P_{gd}$ на зарядку аккумулятора будет развиваться мощность $P_2(V, W) = P(V, W)$ при $P(V, W) < P_{gd}$ и $P_2(V,W) = 0$ при $P(V, W) > P_{gd}$. В системе Mathcad: $P_2(V, W) := if(P(V, W) < P_{gd}, P(V, W), 0)$.

Б. Допустимая мощность генератора больше допустимой мощности зарядки аккумулятора ($P_{gd} > P_{zd}$).

3. Ветротурбина оснащена аэродинамической системой ограничения мощности.

При мощности ветротурбины $P(V, W) < P_{zd}$ на зарядку аккумулятора может развиваться мощность $P_3(V, W) = P(V, W)$, а при $P(V, W) > P_{zd}$ $P_3(V, W) = P_{zd}$. В системе Mathcad: $P_3(V, W) := if(P(V, W) < P_{zd}, P(V, W), P_{zd})$.

4. Остановка ветротурбины при увеличении её мощности сверх P_{zd}.

При мощности ветротурбины $P(V, W) < P_{zd}$ на зарядку аккумулятора будет развиваться мощность $P_4(V, W) = P(V, W)$ при $P(V, W) < P_{gd}$ и $P_4(V, W) = 0$ при $P(V, W) > P_{gd}$. В системе Mathcad: $P_4(V, W) := if(P(V, W) < P_{gd}, P(V, W), 0)$.

На рисунке 5 приведены графики изменения мощности ветротурбины для всех возможных случаев ограничения мощности и соотношений допустимых мощностей зарядки аккумулятора и генератора.

Анализ графиков показывает, что ограничение мощности ветротурбины во всех случаях осуществляется на уровне меньшей допустимой мощности. При этом ограничение мощности путём остановки ветротурбины, по сравнению с ограничением аэродинамическими средствами, исключает возможность использования энергии высокоскоростных потоков воздуха.

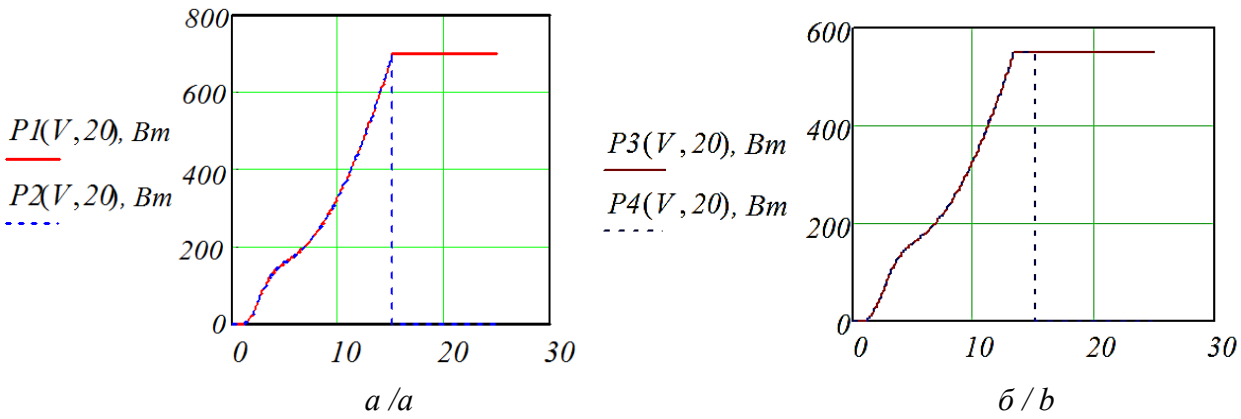


Рис. 5. **Зависимости мощности зарядки аккумулятора от скорости ветра для: *а)* $P_{gd} < P_{zd}$; *б)* $P_{gd} > P_{zd}$ /**
Fig. 5. **The dependence of the battery charging power on the wind speed for: *a)* $P_{gd} < P_{zd}$; *b)* $P_{gd} > P_{zd}$**

С другой стороны, количество энергии, которое ветроустановка может отдать на зарядку аккумулятора, зависит не только от развиваемой ею мощности, но и от закона распределения скоростей ветра в месте эксплуатации ветроустановки. В большинстве мест этот закон описывается функцией распределения вероятностей Вейбулла [16]:

$$f(V) = \left(8760\alpha V^{\alpha-1} e^{-(V/\beta)^{\alpha}}\right)/\beta^{\alpha}, \quad (15)$$

где α – параметр формы; β – параметр масштаба.

В [17] была установлена связь этих параметров со средней скоростью ветра, аппроксимируемая выражениями:

$$\alpha = 1{,}45\ Vc^{0{,}33} \text{ и } \beta = 1{,}0875\ Vc + 0{,}625. \quad (16)$$

Для принятой в расчётах средней скорости ветра 5 м/с: α = 2,47; β = 6,063.

Тогда количество энергии в киловатт-часах в функции числа витков W катушек генератора, которое ветроустановка потенциально может отдать на зарядку аккумулятора за год эксплуатации для рассмотренных выше соотношения допустимых параметров зарядки и вариантов ограничения мощности ветротурбины, может быть найдено по выражению (9).

Графически эти зависимости представлены на рисунке 6.

Вид полученных зависимостей указывает на наличие явно выраженного максимума отдаваемой энергии, наблюдающегося как при $P_{gd} < P_{zd}$ так и при $P_{gd} > P_{zd}$. в районе десяти витков, если турбина имеет ограничение мощности, и в районе 14…16 витков, если при мощности турбины, превышающей допустимую мощность генератора, производится её остановка. Причём максимум энергии и при $P_{gd} > P_{zd}$, и при $P_{gd} < P_{zd}$ значительно меньше при остановке турбины, чем при ограничении её мощности.

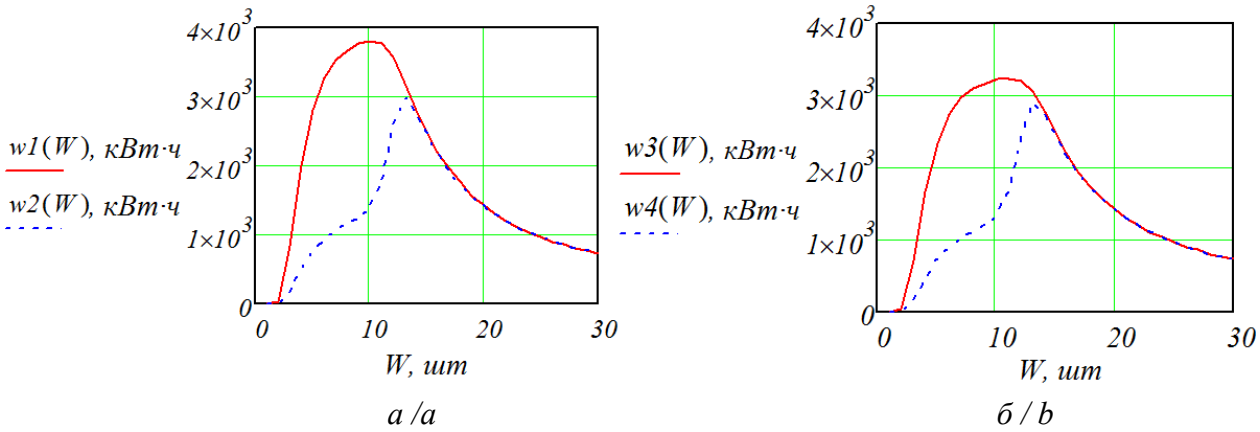


Рис. 6. **Зависимости количества энергии в кВт·ч, которое может отдать ветротурбина за год эксплуатации, от числа витков каждой из катушек генератора при: *а)* $P_{gd} < P_{zd}$; *б)* $P_{gd} > P_{zd}$ /**
Fig. 6. **The dependence of the amount of energy in kWh that a wind turbine can give during a year of operation on the number of turns of each of the generator coils at: *a)* $P_{gd} < P_{zd}$; *b)* $P_{gd} > P_{zd}$**

Заключение. Разработанная методика расчета возможной выработки энергии для зарядки аккумуляторов показала, что существует явно выраженный её максимум при определённом (оптимальном) для данной конкретной установки числе витков обмотки генератора. Отклонение числа витков от оптимального значения может приводить к снижению потенциала энергии в несколько раз. А так как оптимальное число витков обмотки генератора зависит от совокупности параметров всех составных узлов ветроустановки и распределения скоростей ветра в предполагаемом месте её эксплуатации на завершающем этапе её изготовления следует осуществлять его определение для каждого конкретного случая по разработанной выше методике. При этом следует учитывать, что потенциально при любом числе витков выработка энергии больше, если допустимая мощность зарядки аккумулятора превышает допустимую мощность генератора и если ограничение мощности осуществляется не путём остановки ветротурбины, а аэродинамическими средствами.

Список литературы

1. Куницкая О. А., Помигуев А. В., Афоничев Д. Н., Григорьев В. И., Дмитриева И. Н., Григорьев Г. В. Альтернативные источники энергии для автономного энергоснабжения удаленных объектов сельского хозяйства и лесного комплекса. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022;15(1):71-81. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_71 EDN: PNWJGU

2. Titkov V. V., Bekbayev A. B., Munsyzbai T. M., Shakenov K. B. Construction of autonomous buildings with wind power plants. Magazine of Civil Engineering. 2018;4(80):171-180. DOI: https://doi.org/10.18720/MCE.80.15

3. Васильев И. А., Кольниченко Г. И., Тарлаков Я. В., Сиротов А. В. Возобновляемые источники энергии в автономных источниках электроснабжения. Лесной вестник. 2020;24(4):91-97. DOI: https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-4-91-97 EDN: CLWKNY

4. Петько В. Г., Рахимжанова И. А., Фомин М. Б., Колесников А. Б., Садчиков А. С., Колесникова И. В. Обзор и оценка конструктивных схем ветродизельэлектрических установок. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(1(93)):135-141. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-135-140 EDN DRJZRW

5. Makarichev Y. A., Anufriev A. S., Zubkov Y. V., Didenko N. I. Energy efficiency of the wind power generator. Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, Saint Petersburg-Moscow, 28-30 January 2019. Saint Petersburg - Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. pp. 1011-1015. DOI: https://doi.org/10.1109/EIConRus.2019.8657095

6. Статкевич А. В., Тимофеев С. С., Шишлаков В. Ф. Современные ветроэнергетические установки: обзор и тенденции развития. Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: мат-лы XXV Международн. науч. конф., Санкт-Петербург, 30 мая – 03 июня 2022 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. С. 257-261. Режим доступа: https://elibrary.ru/fnkagm EDN FNKAGM

7. Tsgoev R., Isaev T. Energy Efficiency of Wind Electical Plant Models Localized in the Russian Federation on the Repeatability Function of Wind Speed. Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022, Sochi, 16-20 May 2022. Sochi, 2022. pp. 176-180. DOI: https://doi.org/10.1109/ICIEAM54945.2022.9787268

8. Бороденков Е. В., Слисаренко С. Ю., Литвин В. И. Применение ветроэнергетической установки с аккумулированием энергии для автономного энергоснабжения объектов сельского хозяйства. Современные проблемы энергоэффективности агроинженерных исследований в условиях цифровой трансформации: мат-лы Международ. научн.-практ. конф., Балашиха, 19 мая 2022 года. Балашиха: Российский государственный аграрный заочный университет, 2022. С. 99-103. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=49046859&pff=1 EDN KAYAYI.

9. Петько В. Г., Рахимжанова И. А., Фомин М. Б., Колесников А. Б., Садчиков А. С., Колесникова И. В. Регулирование мощности и частоты вращения ветротурбин путём изменения угла установки лопастей. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(3(95)):210-215. DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-210-215 EDN: KPZJJD

10. Perzhabinsky S. M., Karamov D. N., Achitaev A. A. A Model of Reliability Optimization of a Stand-Alone Electric Power System with Constraints on Dynamic Stability of the Wind Turbine. Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2021;14(1):55-71. DOI https://doi.org/10.17516/1999-494X-0288

11. Averyanov V. K., Tolmachev V. N., Shapovalo A. A., Sidorenko G. I. Application of algorithms with a predictive model in solving the problem of regulating the rotational speed of the wind turbine of autonomous wind energy converters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems 2019, St. Petersburg, 20-21 June 2019. St. Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019;666:012032. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/666/1/012032

12. Мартынов А. А., Самсыгин В. К. Устройства для заряда и разряда аккумуляторных батарей источников бесперебойного питания. Труды Крыловского государственного научного центра. 2020;1(391):151-158. DOI: https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-151-158 EDN: NBGTMU

13. Добрего К. В., Бладыко Ю. В. Моделирование сборки аккумуляторных батарей в электронной лаборатории. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021;64(5):381-392. DOI: https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-5-381-392 EDN: OUJGKO

14. Селиванов К. В. Устройство для проверки Li-ion аккумуляторов и прогнозирования периода их работы в различных условиях. Датчики и системы. 2022;(2(261)):47-53. DOI: https://doi.org/10.25728/datsys.2022.2.7 EDN: QTNPKH

15. Petko V., Rakhimzhanova I., Ushakov Yu., Fomin M., Khristianovskaya M. Methodology for determining optimal parameters of the valve float level regulator. AIP Conference Proceedings: international conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment 2021. Sevastopol, 06-10 September 2021. Sevastopol: American Institute of Physics Inc. 2022;2503:030027. DOI: https://doi.org/10.1063/5.0100717

16. Корсун О. Н., Ом М. Х., Латт Ч. З. Определение проекций скорости ветра на основе измерений воздушной скорости, углов атаки и скольжения. Мехатроника, автоматизация, управление. 2021;22(10):553-560. DOI: https://doi.org/10.17587/mau.22.553-560 EDN: FWAFXL

17. Петько В. Г., Рахимжанова И. А. Оценка энергетического потенциала воздушного потока. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(4(72)):227-231. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=35553615 EDN UYPYTC

References

1. Kunitskaya O. A., Pomiguev A. V., Afonichev D. N., Grigoriev V. I., Dmitrieva I. N., Grigoriev G. V. Alternative energy sources for autonomous power supply of remote facilities in agriculture and forestry. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2022;15(1):71-81. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_71

2. Titkov V. V., Bekbayev A. B., Munsyzbai T. M., Shakenov K. B. Construction of autonomous buildings with wind power plants. Magazine of Civil Engineering. 2018;4(80):171-180. DOI: https://doi.org/10.18720/MCE.80.15

3. Vasil'ev I. A., Kol'nichenko G. I., Tarlakov Ya. V., Sirotov A. V. Renewable energy sources in independent systems of power supply. *Lesnoy vestnik*. 2020;24(4):91-97. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-4-91-97

4. Petko V. G., Rakhimzhanova I. A., Fomin M. B., Kolesnikov A. B., Sadchikov A. S., Kolesnikova I. V. Review and evaluation of design schemes wind-diesel-electric installations. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(1(93)):135-141. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-135-140

5. Makarichev Y. A., Anufriev A. S., Zubkov Y. V., Didenko N. I. Energy efficiency of the wind power generator. Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, Saint Petersburg-Moscow, 28-30 January 2019. Saint Petersburg - Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. pp. 1011-1015. DOI: https://doi.org/10.1109/EIConRus.2019.8657095

6. Statkevich A. V., Timofeev S. S., Shishlakov V. F. Modern wind power plants: overview and development trends. Wave electronics and Infocommunication systems: Proceedings of the XXV International Scientific Conference, St. Petersburg, May 30 – June 03, 2022. Saint-Petersburg: *Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet aerokosmicheskogo priborostroeniya*, 2022. pp. 257-261. URL: https://elibrary.ru/fnkagm

7. Tsgoev R., Isaev T. Energy Efficiency of Wind Electical Plant Models Localized in the Russian Federation on the Repeatability Function of Wind Speed. Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022, Sochi, 16-20 May 2022. Sochi, 2022. pp. 176-180. DOI: https://doi.org/10.1109/ICIEAM54945.2022.9787268

8. Borodenkov E. V., Slisarenko S. Yu., Litvin V. I. Application of a wind power plant with energy storage for autonomous power supply of agricultural facilities. Modern problems of energy efficiency of agroengineering research in the context of digital transformation: Proceedings of the International scientific and practical conference, Balashikha, May 19, 2022. Balashikha: *Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy zaochnyy universitet*, 2022. pp. 99-103. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49046859&pff=1

9. Petko V. G., Rakhimzhanova I. A., Fomin M. B., Kolesnikov A. B., Sadchikov A. S., Kolesnikova I. V. Regulation of power and speed of wind turbines by changing the angle of the blades. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(3(95)):210-215. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-210-215

10. Perzhabinsky S. M., Karamov D. N., Achitaev A. A. A Model of Reliability Optimization of a Stand-Alone Electric Power System with Constraints on Dynamic Stability of the Wind Turbine. Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2021;14(1):55-71. DOI https://doi.org/10.17516/1999-494X-0288

11. Averyanov V. K., Tolmachev V. N., Shapovalo A. A., Sidorenko G. I. Application of algorithms with a predictive model in solving the problem of regulating the rotational speed of the wind turbine of autonomous wind energy converters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems 2019, St. Petersburg, 20-21 June 2019. St. Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019;666:012032. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/666/1/012032

12. Martynov A. A., Samsygin V. K. Chargers/dischargers for ups batteries. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra* = Transactions of the Krylov State Research Centre. 2020;1(391):151-158. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-151-158

13. Dobrego K. V., Bladyko Yu. V. Modeling Battery Connections in the Electronic Lab. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i obrazovatel'nykh ob"edineniy SNG* = ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations. 2021;64(5):381-392. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-5-381-392

14. Selivanov K. V. Devices for testing li-ion batteries and predicting the period of their operation in various conditions. *Datchiki i sistemy*. 2022;(2(261)):47-53. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25728/datsys.2022.2.7

15. Petko V., Rakhimzhanova I., Ushakov Yu., Fomin M., Khristianovskaya M. Methodology for determining optimal parameters of the valve float level regulator. AIP Conference Proceedings: international conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment 2021. Sevastopol, 06-10 September 2021. Sevastopol: American Institute of Physics Inc. 2022;2503:030027. DOI: https://doi.org/10.1063/5.0100717

16. Korsun O. N., Om M. H., Latt K. Z. Determination of Wind Velocity Projections Taking into Account Measurements of Airspeed, Angles of Attack and Sideslip. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. 2021;22(10):553-560. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17587/mau.22.553-560

17. Petko V. G., Rakhimzhanova I. A. Evaluation of energy potential of air flow. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(4(72)):227-231. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35553615

Сведения об авторах

Петько Виктор Гаврилович, доктор техн. наук, профессор, кафедра «Электротехнологии и электрооборудование», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», д. 18, ул. Челюскинцев, г. Оренбург, Российская Федерация, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8214-8732**

Рахимжанова Ильмира Агзамовна, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой «Электротехнологии и электрооборудование», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», д. 18, ул. Челюскинцев, г. Оренбург, Российская Федерация, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7771-7291**

✉ **Ушаков Юрий Андреевич,** доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Физика и математика», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», д. 18, ул. Челюскинцев, г. Оренбург, Российская Федерация, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7383-5442**, e-mail: u6j1a159@mail.ru

Фомин Максим Борисович, кандидат техн. наук, доцент, кафедра «Электротехнологии и электрооборудование», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», д. 18, ул. Челюскинцев, г. Оренбург, Российская Федерация, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1190-7842**

Байков Алексей Сергеевич, кандидат с.-х. наук, доцент, кафедра «Электротехнологии и электрооборудование», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», д. 18, ул. Челюскинцев, г. Оренбург, Российская Федерация, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9531-4712**

Пушко Владислав Анатольевич, кандидат техн. наук, доцент, кафедра «Электротехнологии и электрооборудование», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», д. 18, ул. Челюскинцев, г. Оренбург, Российская Федерация, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2019-3658**

Information about the authors

Viktor G. Petko, DSc in Engineering, professor, the Department of Electrical Technologies and Equipment, Orenburg State Agrarian University, 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, Russian Federation, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8214-8732**

Ilmira A. Rakhimzhanova, DSc in Agricultural Science, professor, Head of the Department of Electrical Technologies and Equipment Orenburg State Agrarian University, 18, 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, Russian Federation, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7771-7291**

✉ **Yuriy A. Ushakov,** DSc in Engineering, professor, Orenburg State Agrarian University, 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, Russian Federation, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7383-5442,** e-mail: u6j1a159@mail.ru

Maxim B. Fomin, PhD in Engineering, associate professor, the Department of Electrical Technologies and Equipment, Orenburg State Agrarian University, 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, Russian Federation, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1190-7842**

Aleksey S. Baikov, PhD in Agricultural Science, associate professor, the Department of Electrical Technologies and Equipment, Orenburg State Agrarian University, 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, Russian Federation, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9531-4712**

Vladislav A. Pushko, PhD in Engineering, associate professor, the Department of Electrical Technologies and Equipment, Orenburg State Agrarian University, 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, Russian Federation, 460014, e-mail: rector@orensau.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2019-3658**

✉ – Для контактов / Corresponding author

