

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 23
№ 2
2022

Vol. 23
No. 2
2022

© 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
ПН №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 охот-
ничьего хозяйств при приоритет-
ном освещении проблем рацио-
нального природопользования и
адаптации агроэкосистем север-
ных территорий к меняющимся
климатическим условиям.

Целевая аудитория –
научные работники, преподава-
тели, 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 кормопроизводство,
кормление сельскохозяйственных
животных. Зоотехния.
Ветеринарная медицина.
Звероводство, охотоведение.
Механизация, электрификация,
автоматизация. Экономика.)
- ДИСКУССИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысеев 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 сельско-
хозяйственных 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., 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 государ-
ственный 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 ФГБНУ «Санкт-Петербургский
ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов
Иван Михайлович

д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный
селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»,
г. Москва, Россия

Леднев
Андрей Викторович

д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского
НИИСХ – структурного подразделения ФГБНУ «Удмуртский ФИЦ УрО
РАН», г. Ижевск, Россия

Никонова Галина
Николаевна

д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель
отдела прогнозирования трансформации экономических структур и
земельных отношений Института аграрной экономики и развития сельских
территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский
ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Пашкина
Юлия Викторовна

д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и
ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородская государ-
ственная 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, ВИНТИ, AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) на ведущей мировой платформе Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

Полные тексты статей доступны на сайтах электронных научных библиотек: eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>; ЭНЦХБ: <http://www.cnsnb.ru/elbib.shtm>; CYBERLENINKA: <https://cyberleninka.ru/>; журнала: <http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку можно на сайте "Объединенного каталога "Пресса России" www.pressa-rf.ru по подписному индексу 58391, а также подписаться через интернет-магазин «Пресса по подписке» <https://www.akc.ru>
Электронная версия журнала: <http://www.agronauka-sv.ru>

Адрес издателя и редакции:
610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21
www.agronauka-sv.ru

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

На 4-й странице обложки фото
В. Малишевского

Подписано к печати
18.04.2022 г.

Дата выхода в свет
28.04.2022.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 15.81.

Тираж 100 экз. Заказ 5.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

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

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич

Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Цой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Брандорф
Анна Зиновьевна

Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Козлова Людмила
Михайловна

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибиятулович

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

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии
ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

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

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, заместитель генерального
директора по научной работе РУП «Научно-практический центр
НАН Беларуси по земледелию», г. Жодино, Республика Беларусь

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

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

д.с.-х.н., доцент, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, зав. лабора-
торией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ
Северо-Востока, г. Киров, Россия

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР),
иностраный член РАН, г. Байчен, Китай

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

д.т.н., профессор, декан факультета Люблинского природоохранного
университета, г. Люблин, Польша

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

профессор VTT технического исследовательского центра Финляндии,
г. Эспоо, Финляндия

д.т.н., профессор, Технологическо-природоохранительный институт, г. Варшава, Польша

профессор, научный руководитель Цилинского аграрного университета,
иностраный член РАН, член инженерной академии наук Китая,
г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор, и.о. зав. кафедрой механики и инженерной графики
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

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

д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный
сотрудник, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

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

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия,
агрохимии и мелиорации ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

к.б.н., доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Пермская государ-
ственная фармацевтическая академия», г. Пермь, Россия

д.б.н., главный научный сотрудник отдела экологии животных ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

к.б.н., доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения
химии, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические
технологии и системы» ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
г. Киров, Россия

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

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

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

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

(Plant Growing. Plant protection. Agricultural Microbiology and Mycology. Storage and Processing of Agricultural Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Fodder Production: Field Forage Production; Live-stock Feeding. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)

- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CHRONICLE

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



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

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

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

Natalia A. 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), 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 Nizhny 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 Agroecology, Moscow, Russia

Aleksandr I. Kostjaev Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Ivan M. Kulikov Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Andrei V. Lednev Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Galina N. Nikonova Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Yulia V. Pashkina Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of the Nizhny 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-rr.ru by the index 58391 or via the Internet shop «Pressa po Podpiske (Press by subscription)» <https://www.akc.ru>

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

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

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

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

On the outside back cover there is the photo of V. Malishevsky

Passed for printing
18.04.2022 г.

Date of publication
28.04.2022.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. l. 15.81.
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, Nizhny 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, acting Head of 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. Sheshhegova** 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
- Gubaidulla S. Junusov** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Т. Ю. Беспалова

Распространение и генотипическое разнообразие штаммов *Listeria monocytogenes*, выделенных от людей и жвачных животных с общими клинико-патологическими фенотипами (нейролистериозы и аборт) (обзор)..... 145

В. М. Кузнецов

Информационно-энтропийный подход к анализу генетического разнообразия популяций (аналитический обзор)..... 159

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

И. А. Белан, Л. П. Россеева, Ю. П. Григорьев, И. В. Пахотина

Высококачественный сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 для условий Западной Сибири и Омской области..... 174

С. З. Гучетль, Т. А. Челюстникова, А. А. Аверина

Анализ структуры сортов масличного льна на основе полиморфных микросателлитных локусов.... 184

Ю. С. Осипова, В. В. Леонтьева, Д. А. Дементьев

Оценка сортов коллекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.) по хозяйственно важным признакам..... 194

А. А. Фадеев, М. Ф. Фадеева, И. И. Никифорова, И. Ю. Иванова

Перспективные селекционные линии сои северного экотипа для создания сортов кормового назначения..... 203

П. А. Агеева, Н. А. Почутина, О. М. Громова, Н. М. Зайцева

Люпин узколистный – результаты изучения сортов и сортообразцов по адаптивности и комплексу хозяйственно-биологических признаков..... 211

КОРМОПРОИЗВОДСТВО

Д. А. Иванов, О. В. Карасева, М. В. Рублюк, О. Н. Анциферова

Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга..... 221

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

А. В. Харина, Т. К. Шешегова

Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodorum* и поиск источников признака для селекции..... 230

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Т. А. Барковская, О. В. Гладышева, В. Г. Кокорева

Влияние минеральных удобрений на урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья..... 239

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ

И. А. Гребнев

Территориальное охотустройство: проблемы стратегического планирования и нормативного регулирования..... 248

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

А. А. Ивановский, Н. А. Латушкина

Применение Фитодобавки лактирующим коровам..... 255

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

В. А. Сысеев, С. Л. Дёмшин, С. В. Гайдидей

Результаты исследования комбинированной сеялки полосного посева семян трав в дернину..... 263

ХРОНИКА

Памяти ученого. Кедрова Лидия Ивановна..... 274

CONTENTS

REVIEWS

Tatiana Yu. Beshpalova

Distribution and genotypic diversity of *Listeria monocytogenes* strains isolated from humans and ruminants with common clinical and pathological phenotypes (neurolisterioses and abortions) (review)..... 145

Vasiliy M. Kuznetsov

Information-entropy approach to the analysis of genetic diversity of populations (analytical review)..... 159

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

Igor A. Belan, Lyudmila P. Rosseeva, Yuri P. Grigoriev, Irina V. Pakhotina

High-quality variety of soft spring wheat Omskaya 44 for the conditions of Western Siberia and Omsk region..... 174

Saida Z. Guchetl, Tatyana A. Chelyustnikova, Anastasia A. Averina

Analysis of the structure of linseed flax varieties based on polymorphic microsatellite loci..... 184

Yulya S. Osipova, Valentina V. Leontieva, Dmitrii A. Dementiev

Evaluation of varieties of common hop (*Humulus lupulus* L.) collection according to agronomic traits.... 194

Andrey A. Fadeev, Margarita F. Fadeeva, Inna I. Nikiforova, Inga Y. Ivanova

Promising soybean breeding lines of the northern ecotype for developing forage crops..... 203

Praskovya A. Ageeva, Natalia A. Potchutina, Olga M. Gromova,

Natalia M. Zaytseva Blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) – the results of varieties and accessions study according to adaptivity and a set of commercial-biological traits..... 211

FODDER PRODUCTION

Dmitry A. Ivanov, Olga V. Karaseva, Maria V. Rublyuk, Olga N. Antsiferova

Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring.... 221

PLANT PROTECTION

Anastasia V. Kharina, Tatyana K. Shcheshegova

Comparative analysis of methods of assessing spring wheat for resistance to *Parastagonospora nodorum* and search for sources of a trait for breeding..... 230

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Tatyana A. Barkovskaya, Olga V. Gladysheva, Valeria G. Kokoreva

Effect of mineral fertilizers on the yield of spring soft wheat varieties in the conditions of the Central Non-Chernozem Region..... 239

FUR FARMING AND HUNTING

Ivan A. Grebnev

Territorial hunting management: problems of strategic planning and law regulation..... 248

VETERINARY MEDICINE

Alexander A. Ivanovsky, Natalya A. Latushkina

The use of Phytoadditive in lactating cows..... 255

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Vasiliy A. Sysuev, Sergey L. Demshin, Sergey V. Gaididei

Results of research of the combined seeder for strip sowing of grasses into sod..... 263

CHRONICLE

IN MEMORY. Kedrova Lidiya Ivanovna..... 274

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.145-158>

УДК 616.98:579.869.1:619:636.22/.28.32/.38



Распространение и генотипическое разнообразие штаммов *Listeria monocytogenes*, выделенных от людей и жвачных животных с общими клинико-патологическими фенотипами (нейролистериозы и аборт) (обзор)

© 2022. Т. Ю. Беспалова✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (ФГБНУ ФИЦ ВиМ), Самарский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», г. Самара, Российская Федерация

Listeria (L.) monocytogenes – внутриклеточный пищевой патоген, вызывающий листериоз у млекопитающих в виде спорадических случаев или крупных вспышек с высоким уровнем летальности среди людей и домашних жвачных животных. Определение сиквенстипа (ST) и клонального комплекса (CC) с помощью мультилокусного сиквенстирования (MLST) и другими методами у штаммов *L. monocytogenes* из разных источников позволило установить существование штаммов, обладающих органным тропизмом и вызывающих формы листериоза, общие для человека и жвачных животных. Целью обзора явилось обобщение доступных данных о распространении и генотипическом разнообразии штаммов *L. monocytogenes*, выделенных при нейролистериозе и аборт, их адаптации в окружающей среде для определения возможной связи между листериозом жвачных животных и людей. В целом, анализ дифференциального распределения STs/CCs *L. monocytogenes*, ассоциированных с человеком и жвачными животными, показал значительное их варьирование, а также преобладание CCs (CC1, CC2, CC4, CC6, CC7, CC8, CC14, CC29, CC37 и др.), общих для исследуемых групп хозяев. Нейролистериозы у человека связаны преимущественно с гипервирулентными CC1, CC6, CC4, CC2, у жвачных – CC1 и CC4, а также CC8-16 и CC412. Определена особенная связь ST1 (CC1) с нейролистериозом человека и крупного рогатого скота, указывающая на повышенный нейротропизм ST1. У овец и коз нейролистериозы связаны с различными STs из филогенетических линий I и II. Большинство штаммов *L. monocytogenes*, выделенных из клинических изолятов при аборт, принадлежали CC1, CC2, CC4, CC6, CC7, CC14 у человека и CC1, CC6, CC4-217, CC37 у жвачных животных. Выявление у жвачных животных в их естественной среде обитания изолятов CC1, CC4-CC217, CC6, CC18, CC37 свидетельствует о том, что окружающая среда является резервуаром для *L. monocytogenes*. В Российской Федерации отмечено преобладание изолятов CC7 среди всех видов источников, полученных на территории страны. Будущие исследования должны быть направлены на изучение патогенности штаммов *L. monocytogenes* с повышенной склонностью вызывать заболевания у людей и жвачных животных для лучшего понимания механизмов инфекции и усиления контроля над распространением патогена в различных экологических нишах.

Ключевые слова: листериоз, ромбэнцефалит, менингит, человек, крупный рогатый скот, овцы, козы, окружающая среда, мультилокусное сиквенстирование (MLST), сиквенстип (ST), клональный комплекс (CC)

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (тема №0451-2021-0003).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Беспалова Т. Ю. Распространение и генотипическое разнообразие штаммов *Listeria monocytogenes*, выделенных от людей и жвачных животных с общими клинико-патологическими фенотипами (нейролистериозы и аборт) (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(2):145-158.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.145-158>

Поступила: 28.12.2021

Принята к публикации: 11.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Distribution and genotypic diversity of *Listeria monocytogenes* strains isolated from humans and ruminants with common clinical and pathological phenotypes (neurolisterioses and abortions) (review)

© 2022. Tatiana Yu. Bessalova ✉

Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara, Russian Federation

Listeria (L.) monocytogenes is an intracellular food pathogen that causes listeriosis in mammals in the form of sporadic cases or large outbreaks with a high mortality rate among humans and domestic ruminants. The determination of the sequence type (ST) and the clonal complex (CC) by multilocus sequencing (MLST) and other methods in *L. monocytogenes* strains from different sources allowed us to establish the existence of strains with organ tropism and causing forms of listeriosis common to humans and ruminants. The purpose of the review was to generalize the available data on the distribution and genotypic diversity of *L. monocytogenes* strains isolated during neurolisterioses and abortions, their adaptation in the environment to determine a possible link between listeriosis of ruminants and humans. In general, the analysis of the differential distribution of STs/CCs of *L. monocytogenes* associated with humans and ruminants showed their significant variation, as well as the predominance of CCs (CC1, CC2, CC4, CC6, CC7, CC8, CC14, CC29, CC37, etc.) common to the studied host groups. Neurolisterioses in humans are mainly associated with hypervirulent CC1, CC6, CC4, CC2, in ruminants - CC1 and CC4, as well as CC8-16 and CC412. A special association of ST1 (CC1) with human and bovine neurolisteriosis has been determined, indicating increased neurotropism of ST1. In small ruminants (goats, sheep), neurolisterioses are associated with various STs from phylogenetic lineages I and II. Most of *L. monocytogenes* strains isolated from abortions belonged to CC1, CC2, CC4, CC6, CC7, CC14 in humans and CC1, CC6, CC4-217, CC37 in ruminants. The detection of common isolates CC1, CC4-CC217, CC6, CC18, CC37 in ruminants and in their natural environment indicates that the farm environment is a reservoir for *L. monocytogenes* strains. In the Russian Federation, the prevalence of ST7 isolates among all types of sources obtained on the territory of the country was noted. Future research should be aimed at studying the pathogenicity of *L. monocytogenes* strains with an increased tendency to cause diseases in humans and ruminants for better understanding the mechanisms of infection and strengthening the control over the spread of the pathogen in various ecological niches.

Keywords: listeriosis, rhombencephalitis, meningitis, human, cattle, small ruminants, farm environment, multilocus sequencing (MLST), sequence type (ST), clonal complex (CC)

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Virology and Microbiology (theme No. 0451-2021-0003).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Bessalova T. Yu. Distribution and genotypic diversity of *Listeria monocytogenes* strains isolated from humans and ruminants with common clinical and pathological phenotypes (neurolisterioses and abortions) (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):145-158. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.145-158>

Received: 28.12.2021

Accepted for publication: 11.03.2022

Published online: 20.04.2022

Грамположительная бактерия *Listeria (L.) monocytogenes* – факультативный внутриклеточный патоген, вызывающий листериоз – заболевание человека и животных преимущественно пищевого происхождения с частотой госпитализаций среди людей до 97 % [1] и высоким уровнем летальности (15,6-52 %) при генерализованных формах инфекции [1, 2]. Во всем мире регистрируют как спорадические случаи, так и крупные вспышки листериоза человека [2, 3]. *L. monocytogenes* поражает широкий спектр видов млекопитающих, а среди домашних животных чаще всего крупный рогатый скот и мелкий рогатый скот (далее КРС и МРС) [2, 4, 5, 6, 7].

За последнее десятилетие с помощью современных молекулярно-генетических исследований накоплены данные о существовании

штаммов *L. monocytogenes*, обладающих органным тропизмом и вызывающих клинико-патологические фенотипы листериоза, общие для человека и жвачных животных. У КРС и МРС наиболее частыми фенотипами листериоза являются аборт и нейролистериоз [2, 5, 8, 9]. Последний обычно характеризуется энцефалитом ствола мозга (ромбэнцефалитом) [5, 10]. В отличие от жвачных животных, у людей диагностируют различные формы нейролистериоза, включая менингит, менингоэнцефалит, ромбэнцефалит и абсцессы головного мозга, из которых явно преобладают менингит и менингоэнцефалит [6, 9, 11, 12]. А. Oevermann с соавт. [2] более десяти лет назад предположили, что идентичная нейрпатология листериального ромбэнцефалита у людей и жвачных животных указывает на то, что существу-

ют нейротропные штаммы *L. monocytogenes*, общие для обоих хозяев. Позднее исследования P. Dell'Armellina Rocha с соавт. [13] подтвердили гипотезу о том, что жвачные животные представляют собой возможные естественные резервуары штаммов *L. monocytogenes*, способных вызывать эпидемии листериоза у людей. Чтобы ответить на вопрос, как *L. monocytogenes* циркулирует между животными, людьми и различными объектами производства и окружающей среды, и существует ли риск передачи инфекции от животных к людям, исследования ученых направлены на изучение генотипического разнообразия патогена в различных источниках и адаптации его к определенным экологическим нишам. Полученные знания существенно помогают в эпидемиологических расследованиях случаев листериоза как среди людей, так и среди сельскохозяйственных животных.

Цель обзора – обобщение современных знаний о распространении и генотипическом разнообразии штаммов *L. monocytogenes*, выделенных от людей и жвачных животных с общими клинико-патологическими фенотипами (нейролистериозы и аборт), их адаптации в окружающей среде для определения возможной связи между листериозом жвачных животных и людей.

Материал и методы. В соответствии с целью систематического обзора изучены данные 62 источников по молекулярно-генетическим исследованиям случаев листериоза у человека и жвачных животных, полученных путем запроса библиографических баз данных, научных электронных библиотек с поисковыми системами: Web of Science (<http://www.webof-science.com>); Scopus (<https://www.scopus.com>); eLIBRARY.RU (<https://www.elibrary.ru>); Springer (<https://www.springer.com>); Crossref (<https://search.crossref.org>); Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>). Критерием отбора были: филогенетическая характеристика (CC, ST) изолятов, выделенных из окружающей среды, от жвачных животных и человека при нейролистериозах, фетоплацентарных инфекциях (в частности, аборт); методы MLST (Multi Locus Sequence Typing – мультилокусное секвенирование), MvLST (Multi-virulent-locus sequence typing – метод типирования последовательностей с несколькими вирулентными локусами), WGS (whole genome sequencing – полногеномное секвенирование) и cgMLST (анализ генома – core genome MLST). В качестве источ-

ников литературы были приняты научные статьи на английском и русском языках. Глубина поиска – с 2000 по 2021 гг. Доля материалов в списке использованной литературы за последние пять лет составила 55 %. Проведен анализ общедоступной базы данных изолятов MLST Института Пастера (<https://bigsd.b.pasteur.fr/listeria>).

Основная часть. Общие данные о распространении и особенностях проявления листериоза у человека и жвачных животных. Несмотря на повсеместное распространение *L. monocytogenes* в окружающей среде [5], листериоз не является часто регистрируемой инфекцией среди людей. По данным Европейского агентства по пищевой безопасности в странах Европы с высоким уровнем лабораторной диагностики заболеваемость листериозом в период с 2006 по 2010 гг. составляла в целом 0,35 случая на 100 тыс. жителей [14]. В ряде стран отмечался рост заболеваемости: в Швейцарии с 1991 по 2006 гг. – с 0,14 до 0,9 случ./100 тыс. жителей, в Германии с 2002 по 2006 гг. – с 0,26 до 0,62; в Дании – с 0,5 в 2002-2003 гг. до пика в 1,8 случая в 2009 г. и 0,9 случая в 2012 г., в Польше – с 0,01 в 1997 г. до 0,12 случ./100 тыс. жителей в 2013 году [14, 15, 16] (рис.).

Следует отметить, что тенденция увеличения регистрации случаев листериоза в развитых странах в последние годы сохраняется. Так, в Европейском Союзе в 2016 и 2018 гг. было сообщено о более чем 2,5 тыс. подтвержденных случаев заболевания людей, что соответствует 0,47 случ./100 тыс. жителей [1, 17]. Самые высокие показатели были отмечены в Финляндии, Бельгии, Германии, Словении и Дании: 1,22, 0,92, 0,85, 0,73 и 0,70 случ./100 тыс. жителей соответственно [17, 18]. В Сербии в течение 2014-2018 гг. ежегодный показатель заболеваемости был от 0,04 до 0,19 случ./100 тыс. жителей, при этом уровень летальности в 2018 году составил 12,5 % [19]. В Германии с 2011 по 2018 год уровень заболеваемости составил от 0,4 до 0,8 случ./100 тыс. жителей [20]. Во Франции листериоз вызывает менее 0,1 % болезней пищевого происхождения, но имеет самый высокий уровень летальности (20-30 %) и госпитализаций (98,9 %) среди инфекций пищевого происхождения [21, 22]. В Российской Федерации (РФ) листериоз официально регистрируется с 1992 г. с ежегодным выявлением от 30 до 100 больных, что соответствует 0,02-0,06 случ./100 тыс. жителей [23].

Так, в период с 2007 по 2017 год уровень заболеваемости варьировал от 0,02 в 2012 году до 0,05 случ./100 тыс. жителей в 2006-2007 гг. [23]. Эти показатели существенно ниже, чем в сопредельных европейских странах, и, вероятно, не отражают реальную заболеваемость ли-

стериозом в нашей стране. Очевидно, что уровень диагностики отечественных лабораторий может влиять на точную оценку случаев листериоза. Так, в Москве, где диагностика более развита, ежегодно выявляли уже 0,2-0,5 случ./100 тыс. жителей¹.

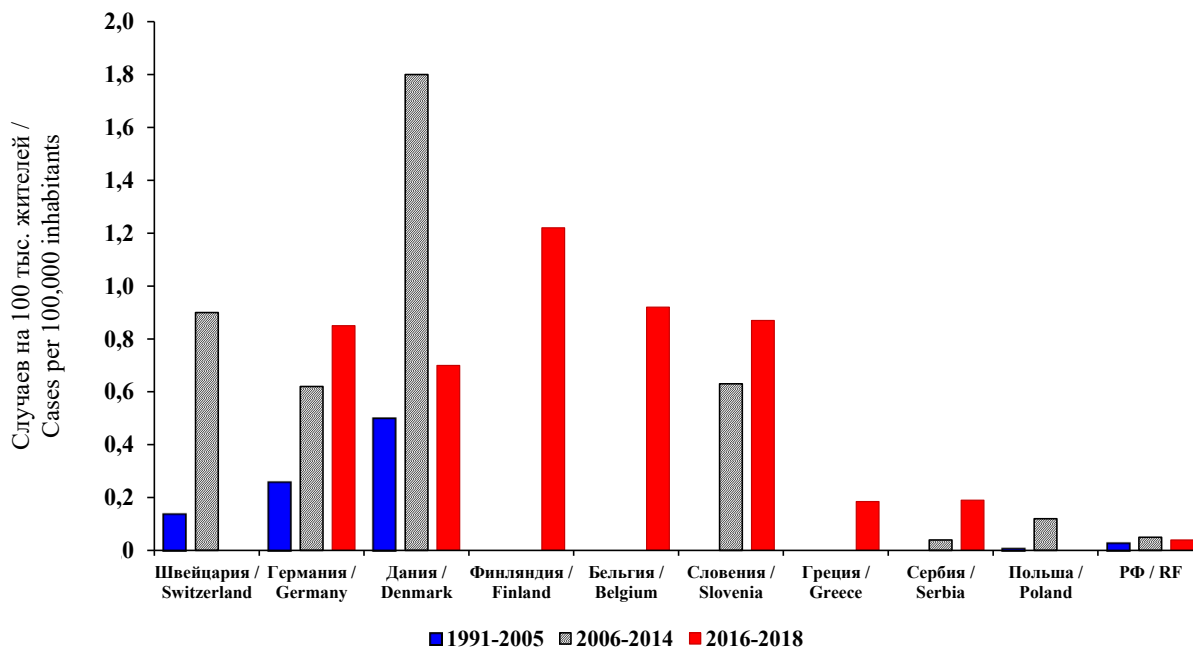


Рис. Заболеваемость населения листериозом в европейских странах /
Fig. The incidence of listeriosis in the population of the European countries

Относительно редкая регистрация случаев листериоза не должна восприниматься специалистами спокойно, т. к. инфекция имеет свои характерные особенности. Обычно после короткого (около 24 час.) инкубационного периода при попадании бактерий *L. monocytogenes* с загрязненной пищей у иммунокомпетентных лиц возникают легкие желудочно-кишечные и/или гриппоподобные симптомы [21]. Но обеспокоенность вызывают случаи, когда после длительного инкубационного периода (от нескольких дней до двух недель) инфекция приводит к опасному для жизни заболеванию с тяжелым клиническим течением у отдельных категорий лиц [21]. В группу риска заражения листериозом входят лица пожилого и старческого возраста, лица с различными иммунодефицитами (ВИЧ-инфицированные, онкологические больные, пациенты с сахарным диабетом, почечной, сердечной недостаточностью), беременные, новорожденные. Хотя по сообщениям А. Oevermann и соавт. [2] листериальные ромбэнцефалиты регистрируют и у здоровых

людей. Особенно опасно, что внутриутробное инфицирование плода в период беременности приводит к абортam, мертворождениям и высокой летальности среди новорожденных².

Вспышки листериоза с высокой летальностью среди людей регистрируют в мире по настоящее время: в ЮАР в 2017 г. при самой масштабной вспышке летальность достигла 20,4 % [24], в США в марте 2020 г. – 3,8 % [25], в Швейцарии в мае 2020 г. – 18,1 % [26]. Большинство вспышек были связаны с употреблением различных пищевых продуктов животного происхождения, загрязненных *L. monocytogenes*. Но, кроме алиментарного, заражение может произойти и другими путями: контактным – от инфицированных животных и грызунов, выделяющих возбудителя во внешнюю среду с мочой, калом, выделениями из носовой полости, глаз, половых органов, с околоплодной жидкостью и молоком; аэрогенным (в помещениях при обработке шкур, шерсти, а также в больницах); трансмиссивным (при укусах насекомыми) и половым³.

¹Беляева Н. М., Цурикова Н. Н., Трякина И. П. Листериоз: этиология, эпидемиология, клиника, диагностика, лечение: учеб. пособие. М.: ГБОУ ДПО РМАПО, 2014. 56 с.

²Там же.

³Там же.

Особое значение имеют трансплацентарное заражение плода и интранатальное – при контакте новорожденного с родовыми путями матери⁴. Возможно профессиональное заражение акушеров – гинекологов, ветеринарных специалистов, работников животноводческих ферм, убойных цехов, мясокомбинатов. Вероятность заражения *L. monocytogenes* людей определенных профессий и побудила к написанию данного обзора.

Клинические проявления листериоза многообразны. Это могут быть самостоятельные заболевания (кератоконъюнктивит, ангина, лимфаденит, мастит и др.), либо системные нарушения (железистая, гастроэнтеритическая, септическая и нервная формы)⁵. Основные клинические проявления листериоза как у людей, так и животных (особенно у домашних жвачных) включают гастроэнтерит, септицемию новорожденных, но чаще всего это тяжелые инфекции матки, сопровождающиеся абортами в последней трети беременности и инфекции центральной нервной системы (ЦНС) [2, 5, 7, 13, 27].

Поражение ЦНС является характерной особенностью листериоза и объясняет высокую летальность от заболевания у жвачных животных, причем инкубационный период энцефалита более длительный по сравнению с другими состояниями (сепсис, аборт) и колеблется от 1 до 7 недель [2, 28]. Клинические признаки листериозного энцефалита различаются в зависимости от топографии поражений ЦНС, но схожи у КРС и МРС. Общие проявления включают проблемы с жеванием, неспособность закрыть челюсть, опущение ушей, верхних век и губ, проблемы с глотанием и паралич языка, кружение, наклон головы, нистагм и слюнотечение. Из неспецифических признаков отмечают лихорадку, вялость и анорексию. В терминальной стадии животные лежат, могут проявляться судороги или паралич конечностей. Возможно течение листериоза в форме энцефалита у беременных жвачных животных без возникновения аборта. Течение инфекции у овец и коз, как правило, острое, и животные погибают в течение 1-3 дней после появления клинических признаков; у КРС течение более продолжительное [5, 28].

Листериоз является наиболее частым среди заболеваний с неврологическими симптомами в популяции взрослого КРС и МРС

во многих европейских странах и его распространенность сильно недооценивается [5]. Листериозный энцефалит жвачных животных имеет важное ветеринарное значение в связи с высокой заболеваемостью и летальностью [5].

В Европе листериоз регистрируют среди КРС и МРС чаще, чем среди людей. Показатели заболеваемости варьируют от 7,55 до 29,4 % [2]. Так, в Швейцарии распространенность энцефалита, вызванного *L. monocytogenes*, составляла 216 случ./млн гол. овец и 500 случ./млн гол. коз в год и, таким образом, значительно превышала число случаев заболевания людей (от 1,4 до 9 случ./млн жителей в год) [2]. В Греции в 2016 году в отличие от низкой распространенности листериоза человека – 1,85 случ./млн жителей, распространенность *L. monocytogenes* в стадах овец и коз с энцефалитом была высокой, на уровне 19,3 и 36,9 % соответственно [29]. В Словении инцидентность листериального ромбэнцефалита среди МРС и КРС за период 2006-2016 гг. составляла 5,3 случ./100 тыс. гол. и 1 случ./100 тыс. гол. соответственно, что также было существенно выше, чем уровень заболеваемости людей, который за период 2013-2017 гг. составлял 0,63-0,87 случ./100 тыс. жителей [7, 30]. В РФ, согласно отчетам ветеринарных лабораторий, за 2016-2018 гг. возбудителя листериоза в патологическом материале от домашних жвачных животных выявляли достаточно редко (~0,08 % образцов)⁶. По данным ИАЦ Россельхознадзора, в 2020 году среди КРС и МРС было зафиксировано всего по три случая заболевания листериозом [31]. Низкие показатели заболеваемости возможно связаны с недостаточным охватом исследований большого или павшего поголовья жвачных животных (с клиническими инвазивными формами листериоза), уровнем лабораторной диагностики в регионах. J. Walland с соавт. [5] отмечают, что важно достоверно оценивать распространенность листериоза в популяции животных для оценки общего воздействия *L. monocytogenes* на ветеринарию и систему общественного здравоохранения, для этого необходимо углубленно изучать распространенность и экологию различных штаммов в окружающей среде молекулярно-генетическими методами.

⁴Там же.

⁵Там же.

⁶Александрова Я. Р., Фурсова Н. К. Заболеваемость сельскохозяйственных животных листериозом и обсемененность пищевых продуктов листериями в Российской Федерации в 2016-2018 гг.: тезисы докл. Мат-лы V Национального конгресса бактериологов. М.: ООО "Издательство "Династия", 2019. С. 8.

Особое место в современной лабораторной диагностике листериоза занимает мультилокусное типирование последовательностей (MLST). Метод позволяет изучить генетическую структуру листерий, определить филогенетическое положение и наследственную и эволюционную связь между изолятами возбудителя. MLST является одним из распространенных методов, позволяющих сопоставлять исследуемые изоляты листерий с изолятами, представленными в открытой базе данных MLST Института Пастера (<https://bigsd.dbweb.pasteur.fr/listeria/listeria.html>) [32]. По результатам секвенирования ПЦР-продуктов и идентификации, проводится анализ аллелей выбранных мишеней, устанавливается аллельный профиль штаммов, тип последовательности – сиквенстип (Sequence Type (ST)), клональный комплекс (клон, Clonal complex (CC)) и принадлежность к филогенетической линии [33]. У *L. monocytogenes* различают четыре филогенетические линии: большинство изолятов группируются в 2 линии (I и II), III и IV линии в настоящее время выделяются редко и в основном у жвачных животных [27, 34]. Клональные комплексы (CCs) демонстрируют уникальные эпидемиологические, фенотипические и генотипические характеристики [27]. Определение ST и CC штаммов *L. monocytogenes* позволяет оценить их принадлежность к группе генетически сходных изолятов, имеющих общего предшественника [35]. Таким образом, систематические исследования характеристик генотипов *L. monocytogenes* во всех нишах (животноводство, люди, продукты питания и окружающая среда) проводят для улучшения понимания экологии патогена, что позволяет выявить возможные связи и пути передачи возбудителя между нишами.

Известно, что у штаммов, относящихся к разным CCs, существенно различаются частота встречаемости в определенных экологических нишах, циркуляция на разных географических территориях, вирулентность и тропизм [6, 7]. Результаты многочисленных молекулярных исследований в мире показывают неоднородное распределение как гипер-, так и гиповирулентных (с высокой или низкой клинической частотой) CCs *L. monocytogenes* по различным источникам выделения, клиническим формам листериоза, что свидетельствует о сильной взаимосвязи между патогенным потенциалом возбудителя и его адаптацией к экологической нише.

Дифференциальное распределение STs/CCs L. monocytogenes, ассоциированных с листериозом жвачных животных и окружающей средой. Ряд авторов показывает, что изоляты *L. monocytogenes*, выделенные от жвачных животных с ромбэнцефалитом, составляют генетически однородную группу, связанную с изолятами *L. monocytogenes*, полученными от человека, продуктов питания и окружающей среды [13, 36]. В исследовании М. Dreyer с соавт. [6] по выявлению клонов с более высокой вирулентностью или органным тропизмом были изучены изоляты *L. monocytogenes* от жвачных животных с различными клиническими формами и из окружающей среды (фермы). В исследования были включены пробы фекалий, так как клинически здоровые жвачные животные могут являться носителями *L. monocytogenes* и выделять их в окружающую среду [37]. По результатам MLST, распространенность STs *L. monocytogenes* сильно варьировала между клиническими и экологическими источниками и, в частности, между ромбэнцефалитными и неэнцефалитными исходами листериоза жвачных животных. Изоляты ромбэнцефалита были более представлены в линии I по сравнению с линией II. 53 % от всех ромбэнцефалитных изолятов принадлежали ST1 (CC1) линии I [6]. Особо было отмечено, что 91 % изолятов из разных источников, принадлежащих генотипу ST1, имели происхождение ромбэнцефалита, в то время как неэнцефалитные клинические изоляты ST1 составляли 1,3 %, экологические и фекальные – 6 и 1,3 % соответственно. Относительное распределение STs при ромбэнцефалите различалось и между хозяевами: у КРС 84 % составлял ST1 и только 16 % приходилось на другие STs, у МРС наряду с преобладающим ST1 разнообразие других STs было значительно выше (56 %). Анализ других STs, наиболее распространенных у жвачных, показал, что среди изолятов, принадлежащих ST4 (CC4) и ST412 (CC412, линии II), на ромбэнцефалитные приходилось 61 и 53 % соответственно. Изоляты ST4, ST412 и редко ST1 выделяли также из окружающей среды. Интересно, что в отличие от ST412, экологические и фекальные изоляты ST1 и ST4 были получены на фермах с продолжающимися или недавними вспышками. С окружающей средой и фекалиями жвачных животных в значительной степени были связаны изоляты ST37 и ST399. В целом, ассоциация с нейролистериозом у штаммов

L. monocytogenes, принадлежащих филогенетической линии I и, в частности ST1, была особенно отмечена у КРС, в то время как у МРС нейрוליриоз был вызван штаммами *L. monocytogenes* различных STs линий I и II, что свидетельствует о повышенной восприимчивости МРС к развитию нейрוליриоза. По мнению М. Dreuer с соавт. [6], эта интерпретация подтверждается высокой распространенностью и смертностью, а также часто встречающимися фульминантными заболеваниями и патологией лириоза у овец и коз по сравнению с крупным рогатым скотом.

В более раннем исследовании М. Dreuer с соавт. [38] *L. monocytogenes* была выделена у овец с септициемией и энцефалитом. При анализе образцов из окружающей среды *L. monocytogenes* была обнаружена только в образцах почвы и резервуарах для хранения воды, которые, следовательно, и явились потенциальными источниками инфекции во время этой вспышки. Молекулярно-генетическими методами было установлено, что все экологические и клинические изоляты содержат один и тот же штамм *L. monocytogenes*. В то же время отрицательные образцы фекалий свидетельствовали о том, что овцы не являлись резервуаром, способствующим загрязнению окружающей среды [39].

Тем не менее, у клинически здоровых жвачных животных в разных исследованиях установлено бессимптомное носительство и выделение возбудителя в окружающую среду с фекалиями [37, 39]. Так, высокая распространенность *L. monocytogenes* наблюдалась в образцах фекалий стад жвачных животных (46,3 % молочного скота, 30,6 % мясного скота и 14,2 % овец) [40]. В недавнем исследовании М. Terentjeva с соавт. [41] среди различных образцов из окружающей среды (почва, вода, корма, фекалии) самая высокая распространенность *L. monocytogenes* была обнаружена в фекалиях крупного рогатого скота (25 %). Кроме того, *L. monocytogenes* была выявлена на фермах, свободных от лириоза, что подтверждает бессимптомное носительство и выделение патогена в окружающую среду, как сообщалось ранее [6, 37]. Результаты сопоставимы с предыдущими исследованиями, показывающими, что КРС может служить резервуаром *L. monocytogenes* [42, 43, 44]. Интересно, что в исследовании М. Terentjeva с соавт. [41] из образцов окружающей среды были выделены штаммы *L. monocytogenes*, принадлежащие преимущественно CC8, CC11,

CC18 и CC37 без преобладания гипервирулентных клонов. Важно, что CC8 был впервые описан в связи со вспышкой лириоза в Канаде в 1990-2010 годах [45], а также был связан с высоким уровнем смертности и инвазивными случаями лириоза человека в Польше [16]. Высокая распространенность клонов CC37 и CC18 может указывать на их адаптацию и устойчивость в окружающей среде.

Примечательно, что в ряде исследований CC18 и CC37 были связаны с изолятами из молока и молочных продуктов, что вызывает риски передачи штаммов данных CCs на фермах КРС в цепочке производства молока [39, 46]. В исследовании S. W. Kim с соавт. [43] сообщалось, что в образцах молока, фильтров и доильного оборудования самыми распространенными были изоляты CC7, CC37 и CC29. Кроме того, ST37 (CC37) был связан с изолятами от жвачных животных и окружающей среды [6, 7, 47]. В работе В. Félix с соавт. [22] сообщалось о наличии гипервирулентных клонов CC1, CC4-217, CC6, CC37 *L. monocytogenes* в молоке и молочных продуктах. В одном из крупных европейских исследований по распространенности CCs при различных клинических формах лириоза у жвачных животных и в окружающей среде, проведенном В. Rapiс с соавт. [7], было выявлено преобладание гипервирулентных клонов CC1 и CC4-CC217 *L. monocytogenes*, а также клонов CC37 и CC6. То, что среди случаев мастита два изолята принадлежали CC4, представляет особый интерес, поскольку экскреция *L. monocytogenes* в сыром молоке, обусловленная чаще субклинической формой лириального мастита, имеет прямую угрозу для потребителей [7]. Результаты также показывают, что CC37 может быть адаптирован к условиям молочной фермы и длительное время сохраняться вне животного-хозяина [7]. В недавнем исследовании М. Maury с соавт. [39] было показано, что CC1 часто представлен в молочных продуктах, и что гипервирулентные CCs, включая CC1, являются лучшими колонизаторами кишечника, по сравнению с гиповирулентными. По мнению авторов, CC1 *L. monocytogenes* более приспособлен к выживанию внутри хозяина, персистенции, выделению с фекалиями и вероятной передаче между хозяевами по сравнению с другими клонами. Длительное выделение *L. monocytogenes* с фекалиями в течение нескольких месяцев у животных при отсутствии симптомов лириоза и повторное

употребление корма, загрязненного зараженными фекалиями (фекально-оральный цикл), может способствовать поддержанию и усилению CCs в условиях молочных ферм [39].

В целом, результаты приведенных исследований подтверждают гипотезу о том, что жвачные животные и естественная среда их обитания (ферма) представляют собой важный резервуар для *L. monocytogenes*.

Дифференциальное распределение STs/CCs L. monocytogenes, ассоциированных с листериозом человека и жвачных животных. Исследователи выявляют определенные ассоциации между конкретными генотипами и клиническими проявлениями листериоза и предполагают существование адаптированных CCs, связанных с нейролистериозом и абортами. При сравнении изолятов от человека и жвачных животных при этих формах наблюдается некоторое перекрытие CCs (CC1, CC2, CC4, CC6 и др.), что может указывать на общие механизмы взаимодействия хозяина и патогена. Но отмечаются и различия в их распределении. В частности, у людей диапазон CCs, связанных с нейролистериозом, намного больше, чем у жвачных животных [6, 48].

По данным Н. С. Den Bakker с соавт. [35], при исследовании спорадических случаев листериоза людей и образцов из других источников, наиболее распространенным был изолят ST1 (CC1), в то же время ST29 (CC29) был значительно представлен среди клинических изолятов человека по сравнению с изолятами другого происхождения. CC1 также был зарегистрирован как один из наиболее распространенных CCs среди клинических изолятов человека в Польше [16]. По данным М. Dreuer с соавторами [6], в Швейцарии CC1 в группе клинических изолятов человека составлял 15 %, во Франции – 20 %, в то же время при листериозе жвачных животных его распространенность была значительно выше (32 %). Анализ данных М. Dreuer с соавторами [6] в сравнении с изолятами из Швейцарии [49] и Франции [50] показал, что при нейролистериозе человека преобладающими были гипервирулентные штаммы CC1 во всех исследованиях, а также – CC6, CC4, CC2. С пищевыми изолятами преимущественно были связаны CC121, CC9, а ряд CCs занимали промежуточное положение: CC8-16, CC5, CC3, CC155, CC37, CC18 во Франции [50] и CC8-16, CC26, CC21 в Швейцарии [49]. Изоляты, принадлежащие CC1, CC2 и CC6, показали высокую

долю инфекций ЦНС у человека и в исследовании А. Jensen с соавт. [15]. Интересно, что в исследованиях М. Maury с соавт. [50] отмечено, что штаммы CC1, CC2, CC4 и CC6 были более распространены среди пациентов с незначительными или отсутствующими сопутствующими иммуносупрессивными заболеваниями.

Сравнение в те же годы М. Dreuer с соавт. [6] изолятов человека с изолятами жвачных животных показало, что нейролистериозы у животных вызываются преимущественно гипервирулентными штаммами CC1 и CC4, а также CC8-16 и CC412. В целом полученные данные свидетельствовали о воздействии на жвачных животных в окружающей среде широкого спектра штаммов, тем не менее была выявлена сильная ассоциация изолятов ST1 (CC1) с ромбэнцефалитом, и предположен повышенный нейротропизм ST1 у жвачных. Возможно, это было связано с его гипервирулентностью и повышенной внутриклеточной репликацией, т. к. авторы установили, что изоляты STs 1, 4 и 412, ассоциированные с ромбэнцефалитом, являются гиперинвазивными и гиперреплицирующими в клеточной линии макрофагов КРС по сравнению с изолятами ST18 и ST37, ассоциированными с окружающей средой. С другой стороны, изоляты CCs 2, 3, 5, 6, 7, 9, 29, 37, 121 и 155 были достоверно связаны с разными клиническими формами листериоза человека по сравнению с инфекциями животных. Некоторые из этих CCs наблюдались у жвачных животных (CC6, CC7, CC29, CC37), но большинство из них были редкими или отсутствовали (кроме CC1) среди клинических изолятов, что по мнению авторов свидетельствует об ассоциации этих CCs с видами жвачных животных или специфической адаптацией ниши. Результаты многих исследований выявляют принадлежность энцефалитных изолятов *L. monocytogenes* жвачных животных к ST1 (CC1) [6, 7, 51, 52]. В. Paric с соавт. [7] сообщали, что среди клинических изолятов жвачных животных в Словении CC1 был наиболее распространенным и имел сильную связь с ромбэнцефалитом КРС, но в отличие от ранее опубликованного исследования [6], авторы не наблюдали значительной избыточной представленности изолятов CC1 при ромбэнцефалите КРС по сравнению с МРС. CC1 преобладал во всех инвазивных клинических формах листериоза (аборт, ромбэнцефалит и септицемия), что подтверждает его гипервирулентный характер.

Интересно, что в исследованиях В. Paric с соавт. [7] CC2, еще один известный гипервирулентный CC, был слабо представлен в проанализированных общеевропейских наборах данных среди экологических и клинических изолятов животных. Аналогично, ранее сообщалось о низкой распространенности CC2 в изолятах от животных, из окружающей среды (фермы) [6]. Эти результаты контрастируют с его высокой распространенностью среди клинических изолятов человека [16, 50] и свидетельствуют о том, что изоляты CC2 плохо адаптированы к условиям фермы.

Выявленная В. Paric с соавт. [7] высокая распространенность ранее зарегистрированных гипервирулентных клонов CC6 и CC4 среди клинических изолятов животных была аналогична наблюдаемой у людей [16]. В исследованиях А. Painset с соавт. [18] методом WGS изолятов *L. monocytogenes* из клинических случаев у людей (спорадических и при вспышках) отмечалось преобладание CC1, CC4, CC6, CC7, CC8, CC87, CC14, CC155 в порядке убывания. Большинство изолятов *L. monocytogenes* (55,3 %) от людей, проанализированных в ретроспективном исследовании А. Kuch с соавт. [18] в Польше, принадлежали к трем из четырех ранее описанных гипервирулентных клонов (CC1, CC2 и CC6). Интересно, что изоляты CC6 были наиболее распространенными (32,6 %), из них 65,2 % были ответственны за менингит. Это согласуется с исследованием М. Koortmans с соавт. [53], проведенным в Нидерландах и показывающим значительный вклад изолятов, принадлежащих CC6 в развитие менингита. Также в исследовании А. Kuch с соавт. [16] CC6 был наиболее представленным клоном во всех типах клинического диагноза, в т. ч. менингита, за которым следовали изоляты CC1. Аналогичным образом, в исследовании М. Maury [50], CC1 и CC6 были двумя наиболее распространенными CCs, связанными с менингитом и бактериемией во Франции, CC6 был четвертым из наиболее распространенных CCs, связанным со случаями листериоза у беременных, а гипервирулентный клон CC4 обладал повышенным плацентарным и церебральным тропизмом (второе и третье место, соответственно) [50].

В случаях *абортов* у жвачных животных, вызванных *L. monocytogenes*, в исследовании В. Paric с соавт. [7] наиболее часто выделяемыми были изоляты, принадлежащие

CC6, CC37, а CC4-CC217 занимали второе по частоте место среди CCs как при ромбэнцефалите, так и при абортах. Высокая распространенность CC37 не отмечалась в ранних исследованиях среди клинических изолятов животных или человека [6, 16, 50].

В РФ отмечаются некоторые особенности в распределении STs/CCs *L. monocytogenes*, ассоциированных с человеком и жвачными животными. Так, в исследовании R. Adgamon с соавт. [4], большинство штаммов *L. monocytogenes*, выделенных из клинических изолятов человека при фетоплацентарных инфекциях, принадлежали к глобально распространенным CC1, CC2, CC7. Недавнее исследование клинических изолятов *L. monocytogenes* у человека, проведенное О. Л. Ворониной с соавт. [54] с помощью MLST и MvLST, с последующим филогенетическим анализом показало, что большинство из них выделяли при перинатальном и неонатальном листериозе (самопроизвольный аборт у беременной с листериозным сепсисом, преждевременные роды и рождение ребенка с пневмонией, неонатальный диссеминированный листериоз) и менингите. Сообщалось, что пациенты с менингитом были инфицированы *L. monocytogenes* ST241 филогенетической линии I и ST7, ST14 линии II. При перинатальной и неонатальной патологии изоляты принадлежали ST7 и ST6. В результате анализа было определено, что изоляты линии I встречались реже изолятов линии II. В группе клинических изолятов линии II преобладал ST7, широко распространенный в окружающей среде и обнаруженный в том же исследовании в продуктах питания в двух регионах (Центральный ФО и Приволжский ФО). Интересно, что в недавнем исследовании М. Х. Cardenas-Alvarez с соавт. [55] CC14 был определен как гипервирулентный клон линии II, к которому принадлежали изоляты, ассоциированные с фетоплацентарными инфекциями. Большая выборка клинических изолятов *L. monocytogenes* в исследованиях О. Л. Ворониной с соавт. [56] также показала, что ST6 лидировал среди группы изолятов неонатального листериоза линии I, а при листериозном менингите лидировал ST7. В том же исследовании с помощью cgMLST изолятов ST7 было установлено совпадение коровых геномов штаммов, что подтверждало вертикальную передачу *L. monocytogenes* от матери ребенку [48].

Е. К. Psareva с соавт. [57] в ретроспективном исследовании штаммов *L. monocytogenes* из Государственной Коллекции Микроорганизмов ФИЦВиМ (Россия), выделенных с 1947 по 1999 гг. на территории Евразии, определили принадлежность клинических изолятов к следующим CCs: CC1, CC7, CC89 и CC177 у человека; CC7, CC18, CC101, CC124, CC177 у КРС и CC7, CC89, CC21, CC124, CC177, CC307 у МРС, при этом наблюдалось некоторое перекрытие CCs. Интересно, что в этом и более ранних исследованиях продемонстрировано превалирование изолятов, принадлежащих CC7 среди всех видов источников, полученных на разных территориях России, что подтверждает его глобальное распространение [4, 58]. Изоляты CC7 выделяют во всем мире (Северной и Южной Америке, Европе, Океании, Африке и Азии) из различных источников (человек, дикие животные, жвачные животные, птицы, рыбы, силос, компост и др.), что говорит о способности клона сохраняться во многих средах [32]. Важно, что данный CC был связан с многочисленными случаями листериоза человека в Европе, США, Австралии [43, 59, 60].

При анализе российских клинических изолятов, представленных в базе данных изолятов MLST Института Пастера [32] в контексте распространения и частоты встречаемости STs/CCs было отмечено, что в настоящее время листериоз человека чаще ассоциируется со штаммами трех CCs: CC7 (17,5 % от 80 клинических изолятов), CC1 (12,5 %), CC2 (10,0 %). Интересно, что изоляты CC4 и CC6 (по 7,5 % соответственно) выявляли только у человека, хотя, как показано выше, в других странах эти CCs распространены и среди жвачных животных. Реже среди клинических изолятов человека (фетоплацентарные инфекции, менингиты) в РФ регистрировали CC5, 8, 9, 14, 20, 21, 37, 59, 89, 155, 177, 315, 451 и 475. Стоит подчеркнуть, что в РФ отсутствуют современные данные молекулярно-биологических исследований случаев листериоза у жвачных животных. Очевидно, что это не позволяет достоверно оценить степень распространенности и разнообразие CCs *L. monocytogenes* среди жвачных в РФ, что диктует необходимость в подобных исследованиях. Дополнительные данные о генотипах большего числа

изолятов *L. monocytogenes* из разных географических районов от сельскохозяйственных животных с неврологическими и другими формами листериоза могут помочь в эпидемиологии заболевания и разработке профилактических мероприятий, в т. ч. против листериоза человека.

Заключение. Таким образом, представленный обзор демонстрирует широкое распространение и высокое генетическое разнообразие CCs/STs *L. monocytogenes* среди клинических изолятов от человека и жвачных животных с похожими фенотипическими формами (здесь проанализированы нейролистериозы и аборт) с преобладанием клональных комплексов (CC1, CC2, CC4, CC6, CC7, CC8, CC14, CC29, CC37 и др.), общих для исследуемых групп хозяйств. Результаты исследований, включенных в обзор, показали, что жвачные животные и естественная среда их обитания (ферма) могут выступать в качестве резервуара для патогенных штаммов *L. monocytogenes* человека. Отмечено неоднородное распределение CCs *L. monocytogenes* в разных источниках и клинических формах с превалированием многообразных клонов у человека, что, вероятно связано с относительно небольшим размером выборки среди жвачных животных по сравнению с исследованиями у людей. Поэтому стоит подчеркнуть важность проведения обширной выборки для получения достоверных данных в дальнейших исследованиях. Кроме того, необходимо повысить и врачебную настороженность в отношении разнообразных клинических проявлений листериоза как человека, так и жвачных животных. Результаты молекулярно-генетических методов подтверждают различия штаммов *L. monocytogenes* в патогенезе, экологии, адаптации в определенных средах и тропизме тканей. Будущие исследования должны быть направлены на изучение патогенности штаммов *L. monocytogenes* среди людей и жвачных животных для лучшего понимания механизмов инфекции. Полученные знания будут способствовать расследованию вспышек, усилению контроля над распространением патогена в различных экологических нишах и управлению мерами профилактики листериоза, тем самым уменьшая экономические потери для животноводства и повышая безопасность для людей в отношении бактериальных инфекций.

References

1. European Food Safety Authority and European Centre for Disease Prevention and Control (EFSA and ECDC). The European Union One Health 2018. Zoonoses Report. EFSA J. 2019;17(12):e05926. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5926>
2. Oevermann A., Zurbriggen A., Vandeveld M. Rhombencephalitis Caused by *Listeria monocytogenes* in Humans and Ruminants: A Zoonosis on the Rise? Interdiscip. Perspect. Infect. Dis. 2010;632513. DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/632513>
3. Goulet V., Hedberg C., Le Monnier A., de Valk H. Increasing incidence of listeriosis in France and other European countries. Emerging Infectious Diseases. 2008;14(5):734-740. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid1405.071395>
4. Adgamon R., Zaytseva E., Thiberge J. M., Brisse B., Ermolaeva S. Genetically related *Listeria monocytogenes* strains isolated from lethal human cases and wild animals. In: Genetic Diversity in Microorganisms. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. pp. 235-250. DOI: <https://doi.org/10.5772/32913>
5. Walland J., Lauper J., Frey J., Imhof R., Stephan R., Seuberlich T., Oevermann A. *Listeria monocytogenes* infection in ruminants: Is there a link to the environment, food and human health? A review. Schweiz. Arch. Tierheilkd. 2015;157(6):319-328. DOI: <https://doi.org/10.17236/sat00022>
6. Dreyer M., Aguilar-Bultet L., Rupp S., Guldemann C., Stephan R., Schock A., Otter A., Schupbach G., Brisse S., Lecuit M., Frey J., Oevermann A. *Listeria monocytogenes* sequence type 1 is predominant in ruminant rhombencephalitis. Sci. Rep. 2016;6:36419. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep36419>
7. Papić B., Pate M., Félix B., Kušar D. Genetic diversity of *Listeria monocytogenes* strains in ruminant abortion and rhombencephalitis cases in comparison with the natural environment. BMC Microbiol. 2019;19:299. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1676-3>
8. Vazquez-Boland J. A., Kuhn M., Berche P., Chakraborty T., Domínguez-Bernal G., Goebel W., González-Zorn B., Wehland J., Kreft J. *Listeria* pathogenesis and molecular virulence determinants. Clin. Microbiol. Rev. 2001;14(3):584-640. DOI: <https://doi.org/10.1128/CMR.14.3.584-640.2001>
9. Precht C., Vermathen P., Henke D., Staudacher A., Lauper J., Seuberlich T., Oevermann A., Schweizer-Gorgas D. Correlative Magnetic Resonance Imaging and Histopathology in Small Ruminant *Listeria* Rhombencephalitis. Front Neurol. 2020;11:518697. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.518697>
10. Oevermann A., Botteron C., Seuberlich T., Nicolier A., Friess M., Doherr M. G., Heim D., Hilbe M., Zimmer K., Zurbriggen A., Vandeveld M. Neuropathological survey of fallen stock: Active surveillance reveals high prevalence of encephalitic listeriosis in small ruminants. Vet. Microbiol. 2008;130(3-4):320-329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.01.015>
11. Bartt R. *Listeria* and atypical presentations of *Listeria* in the central nervous system. Semin. Neurol. 2000;20(3):361-374. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2000-9398>
12. Swaminathan B., Gerner-Smidt P. The epidemiology of human listeriosis. Microbes. Infect. 2007;9(10):1236-1243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2007.05.011>
13. Dell'Armellina Rocha P. R., Lomonaco S., Bottero M. T., Dalmasso A., Dondo A., Grattarola C., Zuccon F., Iulini B., Knabel S. J., Capucchio M. T., Casaloni C. Ruminant rhombencephalitis-associated *Listeria monocytogenes* strains constitute a genetically homogeneous group related to human outbreak strains. Appl. Environ. Microbiol. 2013;79(9):3059-3066. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00219-13>
14. EFSA, ECDC. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2010. EFSA J. 2012;10(3):2597. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2597>
15. Jensen A. K., Björkman J. T., Ethelberg S., Kiil K., Kemp M., Nielsen E. M. Molecular typing and epidemiology of human listeriosis cases, Denmark, 2002-2012. Emerg Infect Dis. 2016;22(4):625-633. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2204.150998>
16. Kuch A., Goc A., Belkiewicz K., Filipello V., Ronkiewicz P., Gołbiewska A., Wróbel I., Kiedrowska M., Waśko I., Hryniewicz W., Lomonaco S., Skoczyńska A. Molecular diversity and antimicrobial susceptibility of *Listeria monocytogenes* isolates from invasive infections in Poland (1997-2013). Sci Rep. 2018;8(1):14562. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32574-0>
17. EFSA, ECDC. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2016. EFSA J. 2017;15(12):e05077. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.5077>
18. Painset A., Björkman J. T., Kiil K., Guillier L., Mariet J. F., Félix B., Amar C., Rotariu O., Roussel S., Perez-Reche F., Brisse S., Moura A., Lecuit M., Forbes K., Strachan N., Grant K., Møller-Nielsen E., Dallman T. J. LiSEQ – whole-genome sequencing of a cross-sectional survey of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods and human clinical cases in Europe. Microb. Genom. 2019;5(2):e000257. DOI: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000257>
19. Petrovic V., Petrovic M., Dragovac G., Ristic M., Medic S., Ilic S., Rachevic S., Shtrbac M. Infectious Diseases in Vojvodina in 2018. Institute of Public Health of Vojvod: Novi Sad, Serbia. 2019. pp. 97-98.

20. Lüth S., Halbedel S., Rosner B., Wilking H., Holzer A., Roedel A., Dieckmann R., Vincze S., Prager R., Flieger A., Al Dahouk S., Kleta S. Backtracking and forward checking of human listeriosis clusters identified a multiclonal outbreak linked to *Listeria monocytogenes* in meat products of a single producer. *Emerg. Microbes Infect.* 2020;9(1):1600-1608. DOI: <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1784044>
21. Goulet V., King L. A., Vaillant V., de Valk H. What is the incubation period for listeriosis? *BMC Infect Dis.* 2013;10:11. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2334-13-11>
22. Félix B., Feurer C., Maillet A., Guillier L., Boscher E., Kerouanton A., Denis M., Roussel S. Population Genetic Structure of *Listeria monocytogenes* Strains Isolated From the Pig and Pork Production Chain in France. *Front. Microbiol.* 2018;9:684. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00684>
23. Ковалев В. А., Филатов Н. Н., Алешина Е. Н., Симонова Е. Г. Заболеваемость листериозом в Российской Федерации. *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2019;7(4):509-517. DOI: <https://doi.org/10.23888/HMJ201974509-517>
- Kovalev V. A., Filatov N. N., Aleshina E. N., Simonova E. G. *Zabolevaemost' listeriozom v Rossiyskoy Federatsii*. [Sickness of listeriosis in Russian Federation]. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium) = Science of the young (Eruditio Juvenium)*. 2019;7(4):509-517. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23888/HMJ201974509-517>
24. Smith A. M., Tau N. P., Smouse S. L., Allam M., Ismail A., Ramalwa N. R., Disenyeng, B., Ngomane M., Thomas J. Outbreak of *Listeria monocytogenes* in South Africa, 2017–2018: Laboratory Activities and Experiences Associated with Whole-Genome Sequencing Analysis of Isolates. *Foodborne Pathog. Dis.* 2019;16(7):524-530. DOI: <https://doi.org/10.1089/fpd.2018.2586>
25. Outbreak investigation of *Listeria monocytogenes*: enoki mushrooms (March 2020). URL: <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/outbreak-investigation-listeria-monocytogenes-enoki-mushrooms-march-2020>
26. Whitworth J. Officials Report More Patients in Listeria Outbreak Linked to Cheese. URL: <https://www.foodsafetynews.com/2020/05/more-patients-reported-in-listeria-outbreak-linked-to-cheese>
27. Orsi R. H., den Bakker H. C., Wiedmann M. *Listeria monocytogenes* lineages: Genomics, evolution, ecology, and phenotypic characteristics. *Int. J. Med. Microbiol.* 2011;301(2):79-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2010.05.002>
28. Truchet L., Walland J., Wüthrich D., Boujon C. L., Posthaus H. Neuropathological survey reveals underestimation of the prevalence of neuroinfectious diseases in cattle in Switzerland. *Vet Microbiol.* 2017;208:137-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.07.027>
29. Kotzamanidis C., Papadopoulos T., Vafeas G., Tsakos P., Giantzi V., Zdragas A. Characterization of *Listeria monocytogenes* from encephalitis cases of small ruminants from different geographical regions, in Greece. *Journal of Applied Microbiology*. 2019;126(5):1373-1382. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14244>
30. Papić B., Kušar D., Zdovc I., Golob M., Pate M. Retrospective investigation of listeriosis outbreaks in small ruminants using different analytical approaches for whole genome sequencing-based typing of *Listeria monocytogenes*. *Infection, Genetics and Evolution*. 2020;77:104047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.104047>
31. Караулов А.К., Варкентин А.В., Петрова О.Н., Семенова Н.А., Баташова Д.С., Коренной Ф.И. Эпизоотическая ситуация в Российской Федерации 2020 год. Информационно-аналитический центр Россельхознадзора. Режим доступа: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/iac/rf/2020/iac2020_all.pdf
- Karaulov A. K., Varkentin A. V., Petrova O. N., Semenova N. A., Batashova D. S., Korennoy F. I. *Epizooticheskaya situatsiya v Rossiyskoy Federatsii 2020 god. Informatsionno-analiticheskiy tsentr Rossel'-khonadzora*. [Epizootic situation in the Russian Federation in 2020. Information and Analytical Center of the Rosselkhoz nadzor]. (In Russ.). URL: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/iac/rf/2020/iac2020_all.pdf
32. BIGSdb-Pasteur MLST database. URL: <https://bigsdb.web.pasteur.fr/listeria/listeria.html> (accessed on 16.12.2021).
33. Stessl B., Wagner M., Ruppitsch W. Multilocus Sequence Typing (MLST) and Whole Genome Sequencing (WGS) of *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua*. *Methods Mol. Biol.* 2021;2220:89-103. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0982-8_7
34. Camargo A. C., Woodward J. J., Nero L. A. The Continuous Challenge of Characterizing the Food-borne Pathogen *Listeria monocytogenes*. *Foodborne Pathog. Dis.* 2016;13(8): 405-416. DOI: <https://doi.org/10.1089/fpd.2015.2115>
35. Bakker den H. C., Fortes E. D., Wiedmann M. Multilocus sequence typing of out-break-associated *Listeria monocytogenes* isolates to identify epidemic clones. *Foodborne pathogens and disease*. 2010;7(3):257-265. DOI: <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0342>
36. Jeffers G. T., Bruce J. L., McDonough P. L., Scarlett J., Boor K. J., Wiedmann M. Comparative genetic characterization of *Listeria monocytogenes* isolates from human and animal listeriosis cases. *Microbiology*. 2001;147(5):1095-1104. DOI: <https://doi.org/10.1099/00221287-147-5-1095>
37. Ho A. J., Ivanek R., Grohn Y. T., Nightingale K. K., Wiedmann M. *Listeria monocytogenes* fecal shedding in dairy cattle shows high levels of day-to-day variation and includes outbreaks and sporadic cases of shedding of specific *L. monocytogenes* subtypes. *Prev. Vet. Med.* 2007;80(4):287-305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.03.005>

38. Dreyer M., Thomann A., Böttcher S., Frey J., Oevermann A. Outbreak investigation identifies a single *Listeria monocytogenes* strain in sheep with different clinical manifestations, soil and water. *Vet. Microbiol.* 2015;179(1-2):69-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2015.01.025>
39. Maury M. M., Bracq-Dieye H., Huang L., Vales G., Lavina M., Thouvenot P., Disson O., Leclercq A., Brisse S., Lecuit M. Hypervirulent *Listeria monocytogenes* clones' adaption to mammalian gut accounts for their association with dairy products. *Nat. Commun.* 2019;10(1):2488. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10380-0>
40. Esteban J. I., Oporto B., Aduriz G., Juste R. A., Hurtado A. Faecal shedding and strain diversity of *Listeria monocytogenes* in healthy ruminants and swine in Northern Spain. *BMC Vet. Res.* 2009;5(5):2. DOI: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-5-2>
41. Terentjeva M., Šteingolde Ž., Meistere I., Elferts D., Avsejenko J., Streikiša M., Gradovska S., Alksne L., Ķibilds J., Bērziņš A. Prevalence, Genetic Diversity and Factors Associated with Distribution of *Listeria monocytogenes* and Other *Listeria spp.* in Cattle Farms in Latvia. *Pathogens.* 2021;10(7):851. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens10070851>
42. Castro H., Jaakkonen A., Hakkinen M., Korkeala H., Lindström M. Occurrence, persistence, and contamination routes of *Listeria monocytogenes* genotypes on three Finnish dairy cattle farms: A Longitudinal study. *Appl. Environ. Microbiol.* 2018;84(4):e02000-17. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02000-17>
43. Kim S. W., Haendiges J., Keller E. N., Myers R., Kim A., Lombard J. E., Karns J. S., Van Kessel J. A. S., Haley B. J. Genetic diversity and virulence profiles of *Listeria monocytogenes* recovered from bulk tank milk, milk filters, and milking equipment from dairies in the United States (2002 to 2014). *PLoS One.* 2018;13(5):e0197053. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197053>
44. Bandelj P., Jamnikar-Ciglenecki U., Ocepek M., Blagus R., Vengust M. Risk factors associated with fecal shedding of *Listeria monocytogenes* by dairy cows and calves. *J. Vet. Intern. Med.* 2018;32(5):1773-1779. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvim.15234>
45. Knabel S. J., Reimer A., Verghese B., Lok M., Ziegler J., Farber J., Pagotto F., Graham M., Nadon C. A., Gilmour M. W. Sequence typing confirms that a predominant *Listeria monocytogenes* clone caused human listeriosis cases and outbreaks in Canada from 1988 to 2010. *J. Clin. Microbiol.* 2012;50(5):1748-1751. DOI: <https://doi.org/10.1128/JCM.06185-11>
46. Chen Y., Gonzalez-Escalona N., Hammack T. S., Allard M. W., Strain E. A., Brown E. W. Core genome multilocus sequence typing for identification of globally distributed clonal groups and differentiations of outbreaks of strains of *Listeria monocytogenes*. *Appl. Environ. Microbiol.* 2016;82(20):6258-6272. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01532-16>
47. Raschle S., Stephan R., Stevens M. J. A., Cernela N., Zurfluh K., Muchaamba F., Nüesch-Inderbinnen M. Environmental dissemination of pathogenic *Listeria monocytogenes* in flowing surface waters in Switzerland. *Sci. Rep.* 2021;11:9066. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88514-y>
48. Moura A., Criscuolo A., Pouseele H., Maury M. M., Leclercq A., Tarr C., Björkman J. T., Dallman T., Reimer A., Enouf V., Larssonneur E., Carleton H., Bracq-Dieye H., Katz L. S., Jones L., Touchon M., Tourdjman M., Walker M., Stroika S., Cantinelli T., Chenal-Francisque V., Kucerova Z., Rocha E. P., Nadon C., Grant K., Nielsen E. M., Pot B., Gerner-Smidt P., Lecuit M., Brisse S. Whole genome-based population biology and epidemiological surveillance of *Listeria monocytogenes*. *Nat Microbiol.* 2016;(2):16185. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.185>
49. Althaus D., Lehner A., Brisse S., Maury M., Tasara T., Stephan R. Characterization of *Listeria monocytogenes* strains isolated during 2011-2013 from human infections in Switzerland. *Foodborne Pathogens and Disease.* 2014;11(10):753-758. DOI: <https://doi.org/10.1089/fpd.2014.1747>
50. Maury M. M., Tsai Y. H., Charlier C., Touchon M., Chenal-Francisque V., Leclercq A., Criscuolo A., Gaultier C., Roussel S., Brisabois A., Disson O., Rocha E. P. C., Brisse S., Lecuit M. Uncovering *Listeria monocytogenes* hypervirulence by harnessing its biodiversity. *Nature genetics.* 2016;48:308-313. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.3501>
51. Bepalova T. Y., Mikhaleva T. V., Meshcheryakova N. Y., Kustikova O. V., Matovic K., Dmitri'c M., Zaitsev S. S., Khizhnyakova M. A., Feodorova V. A. Novel Sequence Types of *Listeria monocytogenes* of Different Origin Obtained in the Republic of Serbia. *Microorganisms.* 2021;9(6):1289. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061289>
52. Aguilar-Bultet L., Nicholson P., Rychener L., Dreyer M., Gözel B., Origgi F. C., Oevermann A., Frey J., Falquet L. Genetic separation of *Listeria monocytogenes* causing central nervous system infections in animals. *Front Cell Infect Microbiol.* 2018;8:20. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00020>
53. Koopmans M. M., Engelen-Lee J., Brouwer M. C., Jaspers V., Man W. K., Vall Seron M., van de Beek D. Characterization of a *Listeria monocytogenes* meningitis mouse model. *J. Neuroinflammation.* 2018;15(1):257. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12974-018-1293-3>
54. Воронина О. Л., Кунда М. С., Рыжова Н. Н., Кутузова А. В., Аксенова Е. И., Карпова Т. И., Тартаковский И. С., Юшук Н. Д., Климова Е. А., Кареткина Г. Н., Чемерис О. Ю., Груздева О. А., Мелкумян А. Р., Орлова О. Е., Бурмистрова Е. Н. Листерия. Генотипирование как ключ к выявлению возможного источника заражения. Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2019;21(4):261-273. DOI: <https://doi.org/10.36488/cmab.2019.4.261-273>

Voronina O. L., Kunda M. S., Ryzhova N. N., Kutuzova A. V., Aksenova E. I., Karpova T. I., Tartakovskiy I. S., Yushchuk N. D., Klimova E. A., Karetkina G. N., Chemeris O. Yu., Gruzdeva O. A., Melkumyan A. R., Orlova O. E., Burmistrova E. N. *Listerioz. Genotipirovanie kak klyuch k vyyavleniyu vozmozhnogo istochnika zarazheniya*. [Listeriosis: genotyping as a key for identification a possible source of infection]. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya* = Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2019;21(4):261-273. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36488/cmac.2019.4.261-273>

55. Cardenas-Alvarez M.X., Townsend Ramsett M.K., Malekmohammadi S., Bergholz T.M. Evidence of hypervirulence in *Listeria monocytogenes* clonal complex 14. *J Med Microbiol*. 2019;68(11):1677-1685. DOI: <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001076>

56. Воронина О. Л., Тартаковский И. С., Ющук Н. Д., Рыжова Н. Н., Аксёнова Е. И., Кунда М. С., Кутузова А. В., Мелкумян А. Р., Карпова Т. И., Груздева О. А., Климова Е. А., Кареткина Г. Н., Чемерис О. Ю., Тарасова Т. А., Дронина Ю. Е., Орлова О. Е., Бурмистрова Е. Н., Цибин А. Н. Анализ спорадических случаев инвазивного листериоза в мегаполисе. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2020;97(6):546-555. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-97-6-5>

Voronina O. L., Tartakovskiy I. S., Yushchuk N. D., Ryzhova N. N., Aksenova E. I., Kunda M. S., Kutuzova A. V., Melkumyan A. R., Karpova T. I., Gruzdeva O. A., Klimova E. A., Karetkina G. N., Chemeris O. Yu., Tarasova T. A., Dronina Yu. E., Orlova O. E., Burmistrova E. N., Tsibin A. N. *Analiz sporadicheskikh sluchaev invazivnogo listerioza v megapolise*. [Analysis of sporadic cases of invasive listeriosis in a metropolis]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii* = Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology. 2020;97(6):546-555. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-97-6-5>

57. Psareva E. K., Egorova I. Y., Liskova E. A., Razheva I. V., Gladkova N. A., Sokolova E. V., Potemkin E. E., Zhurilov P. A., Mikhaleva T. V., Blokhin A. A., Chalenko Y. M., Kolbasov D. V., Ermolaeva S. A. Retrospective Study of *Listeria monocytogenes* isolated in the territory of inner Eurasia from 1947 to 1999. *Pathogens*. 2019;8(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens8040184>

58. Voronina O. L., Ryzhova N. N., Kunda M. S., Kurnaeva M. A., Semenov A. N., Aksenova E. I., Egorova I. Y., Kolbasov D. V., Ermolaeva S. A., Gintsburg A. L. Diversity and Pathogenic Potential of *Listeria monocytogenes* Isolated from Environmental Sources in the Russian Federation. *IJMER*. 2015;5(3):5-15. URL: https://www.researchgate.net/publication/274510695_Diversity_and_Pathogenic_Potential_of_Listeria_monocytogenes_Isolated_from_Environmental_Sources_in_the_Russian_Federation

59. Ragon M., Wirth T., Hollandt F., Lavenir R., Lecuit M., Le Monnier A., Brisse S. A new perspective on *listeria monocytogenes* evolution. *PLoS Pathog*. 2008;4(9):e1000146. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000146>

60. Steckler A. J., Cardenas-Alvarez M. X., Townsend Ramsett M. K., Dyer N., Bergholz T. M. Genetic characterization of *Listeria monocytogenes* from ruminant listeriosis from different geographical regions in the U.S. *Vet Microbiol*. 2018;215:93-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.12.021>

Сведения об авторе

✉ Беспалова Татьяна Юрьевна, заместитель руководителя группы, Самарский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Магнитогорская, д. 8, г. Самара, Российская Федерация, 443013, e-mail: samara@ficvim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0264-0218>, e-mail: 27bt@mail.ru

Information about the author

✉ Tatiana Yu. Bepalova, deputy head of the group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Magnitogorskaya str., 8, Samara, Russian Federation, 443013, e-mail: samara@ficvim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0264-0218>, e-mail: 27bt@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.159-173>
УДК 636.082:575.174.015.3



Информационно-энтропийный подход к анализу генетического разнообразия популяций (аналитический обзор)

© 2022. В. М. Кузнецов ✉

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

Показано применение информационно-энтропийного анализа на реальных данных: генотипированных по 11 микросателлитным локусам 84 быках джерсейской ($n = 10$), айрширской ($n = 10$), красной датской ($n = 10$), красной шведской ($n = 9$) пород и голштинских экотипов немецкой ($n = 13$), нидерландской ($n = 17$) и североамериканской ($n = 15$) селекций. Информационный индекс Шеннона по объединённым породным выборкам составил 1,695, средне-взвешенный по выборкам – 1,325, межвыборочная компонента (S_{HAP}) – 0,370 нит, или 21,8 % (все расчёты по GenAlEx 6.502). Общее абсолютное разнообразие Шеннона составило 5,45, усреднённое по выборкам – 3,76 эффективных аллелей на локус, межпородное – 1,45 эффективных выборов. Относительная оценка дифференциации породных выборов (D'_p) составила 36,2 % и была близка к «традиционным» оценкам по Хедрику, Джосту и Чао. На S_{HAP} -оценки влияния внутривыборочной гетерозиготности не установлено, но отмечена положительная тенденция D'_p -оценок. Матрица парных по породам генетических дистанций (D'_p) и её двумерная проекция имели высокое соответствие с таковыми по $G_{ST(NEI)}$, $F_{ST(W\&C)}$, $G'_{ST(NEI)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} , D_{CHAO} -мерам ($R_{Mantel} \geq 0,94$). Индексы фиксации ($G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$) следует использовать для изучения эволюционных историй подразделённых популяций. Для анализа современной структуры генетического разнообразия (суб)популяций с акцентом на доминирующие аллели – меры на базе гетерозиготности ($G'_{ST(NEI)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} и D_{CHAO}), при необходимости учитывать все аллели – меру Шеннона (D'_p). В заключение рассматривается семейство степенных мер Хилла порядка $q = 0, 1, 2$ для построения профилей разнообразия, содержащих всю информацию о распределении аллелей в популяции.

Ключевые слова: молочный скот, микросателлиты, дифференциация, генетическая дистанция, информация, энтропия, экспонента Шеннона, анализ главных координат, ординация

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (№ гос. регистрации AAAA-A19-119042290136-4).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кузнецов В. М. Информационно-энтропийный подход к анализу генетического разнообразия популяций (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):159-173.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.159-173>

Поступила: 27.01.2022

Принята к публикации: 31.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Information-entropy approach to the analysis of genetic diversity of populations (analytical review)

© 2022. Vasiliiy M. Kuznetsov ✉

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

The application of information-entropy analysis on real data is shown: 84 bulls of Jersey ($n = 10$), Ayrshire ($n = 10$), red Danish ($n = 10$), red Swedish ($n = 9$) breeds and Holstein ecotypes of German ($n = 13$), Dutch ($n = 17$) and North American ($n = 15$) breeding genotyped by 11 microsatellite loci. The Shannon information index for the combined breed samples was 1.695, the weighted average for the samples was 1.325, the inter-sample component (S_{HAP}) was 0.370 nits or 21.8 % (all calculations according to GenAlEx 6.502). The total absolute diversity of Shannon was 5.45, averaged by samples – 3.76 effective alleles per locus, between breeds – 1.45 effective samples. The relative estimate of the differentiation of breed samples (D'_p) was 36.2 % and was close to the «traditional» estimates for Hedrick, Jost and Cio. The influence of within samples heterozygosity on S_{HAP} estimates has not been established, but a positive trend of D'_p -estimates has been noted. The matrix of paired genetic distances by breeds (D'_p) and its 2D projection had a high correspondence with those by $G_{ST(NEI)}$, $F_{ST(W\&C)}$, $G'_{ST(NEI)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} , D_{CHAO} -measures ($R_{Mantel} \geq 0,94$). Fixation indices ($G_{ST(NEI)}$ and $F_{ST(W\&C)}$) should be used to study the evolutionary stories of subdivided populations. To analyze the current structure of the genetic diversity of (sub)populations with an emphasis on dominant allele measures based on heterozygosity ($G'_{ST(NEI)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} and D_{CHAO}), if necessary, take into account all alleles – the Shannon measure (D'_p). In conclusion, a family of Hill power measures of order $q = 0, 1, 2$ is considered for constructing diversity profiles containing all information about the distribution of alleles in a population.

Keywords: dairy cattle, microsatellites, differentiation, genetic distance, information, entropy, Shannon exponent, analysis of principal coordinates, ordination

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. AAAA-A19-119042290136-4).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Kuznetsov V. M. Information-entropy approach to the analysis of genetic diversity of populations (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):159-173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.159-173>

Received: 27.01.2022

Accepted for publication: 31.03.2022

Published online: 24.04.2022

В генетике «разнообразие» – это «набор различий между видами, породами внутри видов и особями внутри пород, выраженными как следствие различий в их ДНК» [1]. Наличие генетического разнообразия и его оценка имеют важное значение для селекции животных, адаптации их к изменяющимся условиям окружающей среды, сохранения исчезающих пород, криоконсервации гамет и эмбрионов.

Разнообразие популяции характеризуют три «экологических» понятия: *богатство* (richness), *обилие* (abundance) и *выравненность* (evenness). Богатство – это число групп (видов, аллелей, морф) в популяции. Обилие – это численность (или относительная частота, доля) каждой морфы. Выравненность – это степень равномерности распределения единиц (наблюдений, животных) популяции по морфам. Меры разнообразия, которые базируются на анализе «богатства», малоинформативны, так как не учитывают «обилие». Популяция, в которой доминируют один-два аллели, генетически менее разнообразна, чем популяция, в которой такое же число равнораспространённых аллелей. Лучшими мерами разнообразия считаются те, которые учитывают богатство, обилие и выравниваемость.

Такие процессы, как изоляция, дрейф генов, отбор и система спаривания приводят к дивергенции популяции, образованию субпопуляций и их дифференциации, в результате чего формируется пространственная структура разнообразия. Разнообразие и дифференциация связаны, т. к. общее разнообразие популяции включает разнообразия внутри субпопуляций и разнообразие между субпопуляциями. Поэтому различают три типа разнообразия: α -разнообразие («в узком смысле») – усреднённое разнообразие отдельных субпопуляций; β -разнообразие (дифференциация) – разнообразие между субпопуляциями, и γ -разнообразие («в широком смысле») – разнообразие в популяции как целое (объединённых субпопуляций).

Показатели разнообразия и дифференциации – важные описательные характеристики популяционной генетики. На уровне маркеров

ДНК генетическое разнообразие измеряется числом аллелей, частотами аллелей, гетерозиготностью. Наиболее широко используется ожидаемая гетерозиготность: $H = 1 - \sum p_m^2$, где p_m – частота m -ой аллели в локусе. Ней назвал H «генным разнообразием», определяемым как вероятность того, что две аллели, выбранных случайным образом из популяции, различны [2]. Если внутрисубпопуляционная гетерозиготность (H_a) гораздо больше, чем межсубпопуляционная (H_b), то говорят о низком уровне дифференциации. Отношение усреднённой внутрисубпопуляционной гетерозиготности (H_a) к гетерозиготности в общей популяции (H_γ) характеризует сходство/родство субпопуляций.

Вместе с тем было показано, что в высокополиморфных системах (например, микросателлиты) гетерозиготность не лучшая мера разнообразия, особенно β -разнообразия [3, 4]. В частности, чем выше H_a , тем ближе H_b к нулю (т. к. $H_b = H_\gamma - H_a$), даже если субпопуляции не имеют общих аллелей. Возрастает вероятность некорректных оценок H_b , ошибочных выводов и неправильных решений, например, при выборе пород(-ы) для сохранения.

Для исследования генетической структуры популяции по ДНК-маркерам имеется два семейства мер [4]. Первое – меры *демографической структуры* или *демографической дифференциации*. Это статистики Райта (F_{ST}), Нея (G_{ST}) [2], Вейра и Кокерхэма ($F_{ST(W\&C)} (= \theta)$) [5]. Их называют «индексами фиксации», т. к. на эмпирическом уровне они, в основном, отражают вероятность фиксации аллелей в каждой субпопуляции, а не фактическую степень дифференциации частот аллелей среди субпопуляций. Второе семейство – меры *аллельной дифференциации* или *структурной дифференциации*. К этому семейству относят модифицированные индексы фиксации ($G''_{ST(HEd)}$, $F'_{ST(W\&C)}$) [6] и меру «истинного» разнообразия Джоста (D_{JOST}) [7] на базе эффективного числа аллелей. Эти меры равны единице, когда каждая субпопуляция состоит исключительно из приватных аллелей, и равны нулю, когда все субпопуляции имеют одни и те же аллели с равными

частотами. Оба семейства мер были рассмотрены нами в работах [8, 9], их применение на реальных данных представлено в [10, 11].

Кроме упомянутых выше метрик, имеются меры разнообразия/дифференциации, «привнесённые» в биологию из статистической физики, теории информации и кибернетики, так называемые «информационно-энтропийные» меры [12, 13]. В теории информации «энтропия» – это мера неопределённости какого-либо опыта, который может иметь разные исходы. Клод Шеннон, один из создателей математической теории информации, в качестве «мер количества информации, возможности выбора и неопределённости» определил величину вида [14]

$$H = -K \sum_{m=1}^M p_m \log p_m = {}^S H,$$

где K – константа (в действительности нужна только для выбора единиц измерения); M – число возможных событий (например, видов в сообществе, аллелей в локусе); p_m – вероятность m -го события из M возможных (в дальнейшем вместо « H » используется « ${}^S H$ », чтобы избежать путаницы с гетерозиготностью¹).

Шеннон писал: «Назовём величину ${}^S H = -\sum p_m \log p_m$ энтропией набора вероятностей $p_1, \dots, p_m$ ». Эта величина есть *усреднённая энтропия* («весами» являются p_m). В то время как величина ${}^S H_m = -\log p_m$ – есть *частная энтропия*, характеризующая только m -ое событие (состояние, исход). Следовательно, энтропия какого-либо опыта (испытания), ${}^S H$, есть усреднённое значение неопределённости отдельных исходов, т. е. случайной величины, принимающей значения $-\log p_m$, с вероятностями p_m . Чем больше вероятность события, тем меньше количество информации в сообщении о таком событии. Получение информации (её увеличение) одновременно означает увеличение знания, что, в свою очередь, означает уменьшение незнания или информационной неопределённости, т. е. энтропии.

Родоначальник кибернетики У. Эшби интерпретировал усреднённую энтропию Шеннона, ${}^S H$, как меру *количества разнообразия*, учитывающую не только абсолютное число разных состояний, но и вероятность, с которой система принимает то или иное состояние [15]. Впоследствии ${}^S H$ даже стали называть «информационный индекс разнообра-

зия Шеннона» или просто «индекс Шеннона», подразумевая разнообразие.

С 1960-х годов ${}^S H$ получил широкое распространение. В последние годы интерес к формуле Шеннона повысился из-за разработки процедуры декомпозиции (разделения) общего индекса (${}^S H_{GT}$) на внутри- и межсубпопуляционные компоненты – ${}^S H_{WP}$ и ${}^S H_{AP}$ соответственно [16]. Кроме того, ${}^S H$, как показатель «количества информации/энтропии», предложили трансформировать через показательную функцию в меру разнообразия – $D = \exp({}^S H)$, где D – является «числовым эквивалентом» («number equivalent») меры разнообразия [17]. Числовой эквивалент – это число одинаково вероятных элементов – эффективных элементов (effective numbers of elements) – необходимых для получения заданного (расчитанного) значения ${}^S H$ [3]. Так, D_γ (или D_α) – это число *эффективных аллелей* по ${}^S H_{GT}$ (или по ${}^S H_{WP}$), а D_β – число *эффективных субпопуляций* по ${}^S H_{AP}$ (${}^S H_{GT}$, ${}^S H_{WP}$ и ${}^S H_{AP}$ – это индексы Шеннона по объединённой популяции, усреднённый по субпопуляциям и межсубпопуляционный). Если ${}^S H_{GT} = {}^S H_{WP} + {}^S H_{AP}$, то $D_\gamma = D_\alpha \times D_\beta$.

В зарубежных научных публикациях по биологии и экологии D_γ , D_α и D_β используют достаточно широко [18]. В российских исследованиях по генетике и селекции животных, сохранению генофонда исчезающих пород эпизодически используют ${}^S H$ [19, 20]. Вместе с тем считается, что шенноновские меры разнообразия (D_γ , D_α и D_β) имеют некоторые идеальные статистические свойства для измерения биологической информации в различных масштабах [21]. Поэтому *цель статьи* состояла в рассмотрении информационно-энтропийных подходов к анализу разнообразия/дифференциации популяций животных по маркерам ДНК. Ставились задачи: (1) применить информационно-энтропийный анализ к реальным данным – выборкам быков разных пород, генотипированных по микросателлитам; (2) сравнить шенноновские сводные оценки дифференциации пород с таковыми, полученными «традиционными» методами в предыдущих исследованиях [10, 11]; (3) рассчитать матрицу попарных генетических дистанций и на её основе выявить генетическую структуру породных выборок; (4) оценить степень сходства/различия разных метрик разнообразия и визуализировать их ординацию в пространстве малой размерности.

¹Численное значение ${}^S H$ зависит от выбора основания логарифма. При основании 2 единицей ${}^S H$ является *бит*, при основании $e = 2,71828$ – *нит* (*нат*), при основании 10 – *дита* (*хартли*). Так как по определению $p \leq 1$, а логарифм числа меньшего единицы – величина отрицательная, то перед $\log$ находится знак минус.

Материал и методы. Использованы те же данные, что и в предыдущих исследованиях [10, 11]. В частности, 84 быка (=N), каждый генотипирован по 11 STR-локусам (микросателлиты ДНК)², именно: 10 быков джерсейской породы (JER), 10 быков айрширской породы (AYR), 10 – красной датской (RDAT), 9 – красной шведской (RSH) и 45 быков голштинской породы трёх «экотипов»³: 13 быков из Германии (H-DEU), 17 – из Нидерландов (H-NLD), 15 – из США (H-USA).

Анализ информационно-энтропийный и главных координат (Principal Coordinate Analysis, PCoA) были выполнены программой GenAlEx 6.502 [22, 23, 24]. Для регрессионно-корреляционного анализа использовали

программу STATGRAPHICS® Centurion XVI [25]. Результаты сравнивали с таковыми, полученными другими методами в работах [10, 11].

Основная часть. STR-разнообразие породных выборок. В таблице 1 представлены базовые показатели аллельного разнообразия анализируемых породных выборок, которые используются в популяционной генетике. Самый простой – среднее число аллелей на локус – n_a (аллельное богатство). Минимальная величина n_a была в JER-выборке – 3,5 аллели на локус. Породные выборки AYR, RDAT, RSH и H-USA имели около 5 аллелей на локус. Максимальные значения были в H-DEU и H-NLD выборках – около 6 аллелей на локус.

Таблица 1 – Показатели разнообразия породных выборок по STR-маркерам /
Table 1 – Indicators of the diversity of breed samples by STR markers

Порода / Breed	n	n_a	n_e	H_o	H_e	sH	$D (^s n_e)$	F	s.e.
JER	10	3,5	2,4	0,56	0,53	0,95	2,6	-0,09	0,074
AYR	10	5,1	3,3	0,69	0,67	1,33	3,8	-0,04	0,059
RDAT	10	5,4	3,2	0,76	0,66	1,32	3,7	-0,15	0,031
RSH	9	4,8	3,4	0,76	0,65	1,30	3,7	-0,15	0,041
H-DEU	13	5,6	3,9	0,74	0,71	1,44	4,2	-0,04	0,062
H-NLD	17	6,2	4,3	0,97	0,75	1,56	4,8	-0,30	0,038
H-USA	15	4,7	3,2	0,70	0,64	1,23	3,4	-0,07	0,040
avEst. (α)	12	5,039	3,371	0,740	0,658	1,304	3,684	-0,123	0,021
totEst. (γ)	84	9,091	4,629	0,756	0,761	1,695	5,447	0,007	0,021

Примечания: n – размер выборки; n_a – число аллелей на локус; n_e – число эффективных аллелей на локус; H_o – наблюдаемая гетерозиготность; H_e – ожидаемая гетерозиготность; sH – индекс Шеннона (нит); D – экспонента sH или эффективное число аллелей на локус по энтропии ($^s n_e$); F – индекс фиксации; s.e. – стандартная ошибка оценки F; avEst. (α) – среднее по выборкам; totEst. (γ) – оценка по объединённым выборкам /

Notes: n – sample size; n_a – number of alleles per locus; n_e – number of effective alleles per locus; H_o – observed heterozygosity; H_e – expected heterozygosity; sH – Shannon index (nit); D – exponential of sH or the effective number of alleles per locus by entropy ($^s n_e$); F – fixation index; s.e. – standard error of estimation F; avEst. (α) – average of the samples; totEst. (γ) – estimate based on combined samples

Мера разнообразия n_a не учитывает распространённость аллелей. Поэтому сравнение аллельного разнообразия выборок по n_a корректно только тогда, когда аллели *равночастотны*. Распространённость аллелей, как правило, различная. В таких случаях используют *эффективное число аллелей*, $n_e = 1/\Sigma p_m^2$ [26] (заметим, Σp_m^2 – это гомозиготность по Харди-Вайнбергу; в определении Нея [2] – «генная идентичность»). Величина n_e представляет число *равночастотных* аллелей,

необходимых для получения той же гетерозиготности, что и в фактической выборке [18].

Величина $n_e \leq n_a$, т. к. зависит от высокочастотных (доминирующих) аллелей; чем больше расхождение, тем больше в выборке низкочастотных аллелей. Отношение n_e/n_a характеризует выравненность распространённости аллелей. Минимальная 59,3 % выравненность была в RDAT-выборке, максимальная в RSH – 70,8 %. В усреднённой выборке выравненность составила 66,9 %, в объединённой – 50,9 %.

²STR – Simple Tandem Repeats – участки ДНК длиной 2-6-9 нуклеотидов, tandemно повторенных 5-40 раз. ВНИИплем. База генетических данных быков-производителей. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vniiplem.com/baza-geneticheskikh-dannyh-bykov> (дата обращения: 11.01.2022).

³Экотип – субпопуляция внутри породы, адаптированная к определённой среде обитания.

Для всех породных выборок оценки ожидаемой гетерозиготности (H_e) были на 3-23 % ниже, чем фактической (H_o). В результате индексы фиксации (F) были со знаком «минус», что указывало на преобладание гетерозигот. Однако только в трёх породных выборках (RDAT, RSH и H-NLD) F -оценки были статистически значимыми при $p_{value} < 0,05$ (удвоенные статистические ошибки, s.e., были меньше F -оценок), т. е. имело место достоверное отклонение генотипических частот от равновесия по Харди-Вайнбергу.

На оценки n_e и H_e в большей степени влияют высокочастотные аллели, т.к. квадраты низких частот (p_m^2) есть величины очень малые. Другими словами, при расчёте n_e и H_e более распространённым (доминирующим) аллелям придаётся больший «вес». Поэтому показатели H_e и n_e занижают аллельное разнообразие (суб)популяции, но являются чувствительными индикаторами доминирования (концентрации) одной или нескольких аллелей в локусе(-ах).

Информационно-энтропийный индекс Шеннона, SH , является косвенным показателем разнообразия без чрезмерного акцента на редкие и доминирующие аллели [27, 28], т. к. взвешивает количество энтропии, содержащейся в группе m -ой аллели ($-\ln p_m$) на её частоту (p_m). Низкие значения SH свидетельствуют о малом разнообразии, высокие – о большом. Наименьший индекс Шеннона ($^SH = 0,95$ нит) был отмечен в JER-выборке, наибольший (1,56 нит) – в H-NLD, в остальных выборках на уровне 1,3 нит.

Нижняя граница $^SH = 0$ при $p_m = 1$. В отличие от верхней границы гетерозиготности, равной 1 для любого числа аллелей, максимальная величина SH равна $\ln(M)$, где M – число аллелей в (суб)популяции. Отчасти поэтому SH сложно интерпретировать относительно «количества разнообразия» в (суб)популяциях. Это не означает, что SH является плохим индексом. Напротив, SH является наиболее глубоким и полезным из всех индексов разнообразия, но его величина характеризует энтропию, а не разнообразие [27]. Экспоненциальная функция конвертирует SH в интуитивно интерпретируемый показатель разнообразия – $D = \exp(^SH)$ [17, 18], который Джост [27] определил как *истинное разнообразие*. Применительно к результатам таблицы 1, D (или n_e) – это минимальное число необходимых *равночастотных* аллелей для получе-

ния такой же величины SH , которая была рассчитана по реальным выборочным данным [18]. D есть энтропийный аналог эффективного числа аллелей по гетерозиготности (n_e), который называют также «*эффективным числом аллелей по энтропии*». Преобразование SH в D (n_e) приводит к легко интерпретируемой, чувствительной мере разнообразия.

Величины n_e были больше n_e в среднем на 0,36 аллеля. На одну аллель n_e и n_e отличались в AYR, RDAT и H-NLD-выборках. Ранговая корреляция Кендалла (τ) между n_e и n_e составила 0,85 ($p_{value} = 0,007$). Для корреляции Кендалла присуща простая вероятностная интерпретация. Так, $\tau = 0,85$ означает, что у 92,5 % пар *порядок* оценок совпадал ($P = (1 + \tau)/2 = (1 + 0,85)/2 = 0,925$), а у 7,5 % – не совпадал.

По трём показателям (n_a , n_e и n_e) были построены *профили разнообразия* (рис. 1), которые визуализировали особенности породных выборок. В частности, профиль аллельного разнообразия JER-выборки занимал не только нижний уровень, но и был в некотором удалении от остальных профилей. Кривые профилей разнообразия по всем выборкам достаточно резко снижались, что указывало на значительное число в их аллелофондах низкочастотных аллелей (чем круче – тем больше). Обращает внимание большая *гетерогенность* профилей разнообразия выборок быков голштинских экотипов, в то время как для профилей выборок быков красных пород (пунктирные кривые) характерна *гомогенность* (однородность).

Интересно отметить, что по n_a выборки RDAT и RSH имели ранги 1 и 3 (среди красных пород), по n_e ранги поменялись местами, а по n_e аллельное разнообразие выборок было, практически, схожим. Это говорит о том, что, во-первых, в аллелофонде RDAT-выборки низкочастотных аллелей было больше, чем в RSH-выборке, во-вторых, три критерия могут приводить к разным выводам относительно аллельного разнообразия популяций и, соответственно, решениям. Как подтверждение последнего, разнообразие H-USA-выборки по числу фактических аллелей на локус (n_a) было, практически, сходным с таковыми в RSH-выборке. Однако по числу эффективных аллелей на основе энтропии (n_e) выборки заметно отличались.

Декомпозиция. По объединённым выборкам информационный индекс Шеннона ($^SH_{GT}$) составил 1,695 нит (табл. 2). В первой

и второй строках даны результаты декомпозиции $^S H_{GT}$ на меж- ($^S H_{AP}$) и внутривыборочный ($^S H_{WP}$) компоненты. Также представлены результаты их конвертирования в «истинное»

разнообразие (D_β , D_α и D_γ). Кроме того, даны относительные оценки разнообразия/дифференциации (D') и перекрытия (O') аллельных профилей.

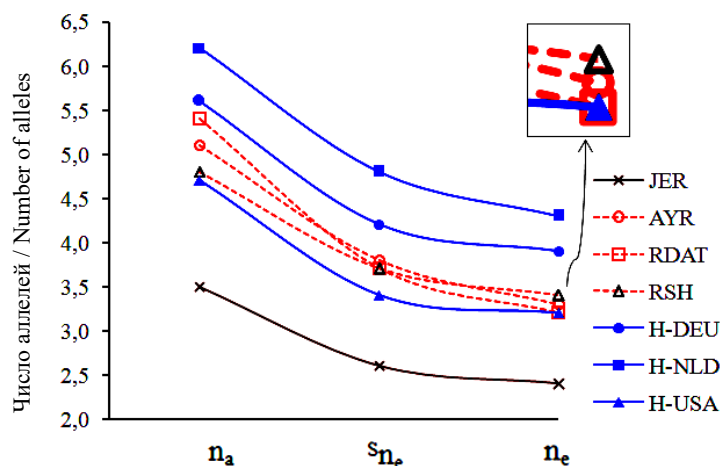


Рис.1 – Профили STR-разнообразия породных выборок. Число аллелей: n_a – фактическое; s_{n_e} – эффективное по энтропии; n_e – эффективное по гетерозиготности (доминирующие) /

Fig.1 – STR-diversity profiles of breed samples. Number of alleles: n_a – actual; s_{n_e} – effective for entropy; n_e – effective for heterozygosity (dominant)

Таблица 2 – Декомпозиция количества информации ($^S H_{GT}$), «истинные» абсолютные (D) и относительные (D') оценки разнообразия и перекрытия (O') аллельных профилей породных выборок /

Table 2 – Decomposition of the amount of information ($^S H_{GT}$); «true» absolute (D) and relative (D') estimates of diversity and overlap (O') of allelic profiles of breed samples

Source Inform.	$^S H$	$^S H, \%$	$D = \exp(^S H)$	$D', \%$	$O', \%$	p_{perm}
Among Pops, AP – (β)	0,370	21,8	1,45	36,2	63,8	0,001
Within Pops, WP – (α)	1,325	78,2	3,76	76,5	23,5	1,000
Total, GT – (γ)	1,695	100,0	5,45	82,1	17,9	-

Примечания: $O' = 100 - D'$. p_{perm} – достигнутый уровень статистической значимости (пермутационный тест с 999 рандомизированными перестановками) /

Notes: $O' = 100 - D'$. p_{perm} – achieved level of statistical significance (permutation test with 999 random shuffles)

Межвыборочная компонента ($^S H_{AP}$) оценивалась в 0,370 нит, внутривыборочная ($^S H_{WP}$) – 1,325 нит. Так как для информационной меры Шеннона характерна аддитивная структура ($^S H_{GT} = ^S H_{AP} + ^S H_{WP}$), то доля межвыборочной компоненты составила $^S H_{AP} / ^S H_{GT} = (0,370/1,695) = 0,218$, или 21,8 %. Это относительный показатель количества межвыборочной информации, но не разнообразия аллельных профилей выборок. Показательная функция перевела $^S H_{GT}$, $^S H_{WP}$ и $^S H_{AP}$ в меры разнообразия (D) с мультипликативным разложением:

- $^S H_{GT} = 1,695$ нит в $D_{GT} = \exp(^S H_{GT}) = 5,45$ – число эффективных аллелей по энтропии в объединённой выборке ($=D_\gamma$);

- $^S H_{WP} = 1,325$ нит в $D_{WP} = \exp(^S H_{WP}) = 3,76$ – число эффективных аллелей по энтропии в усреднённой выборке ($=D_\alpha$);

- $^S H_{AP} = 0,370$ нит в $D_{AP} = \exp(^S H_{AP}) = 1,45$ – эффективное число породных выборок ($=D_\beta$).

Последнее можно получить из отношения D_γ/D_α ($D_\beta = 5,45/3,76 = 1,45$), т. к.

$$D_\gamma = D_\alpha \times D_\beta (= 3,76 \times 1,45 = 5,45).$$

D_β – это абсолютная мера дифференциации субпопуляций. Если имеется P субпопуляций равной численности и нет общих аллелей, то D_β всегда будет равно P (100% дифференциация), независимо от частоты аллелей. Если выборки имеют одни и те же аллели с одинаковыми частотами, то D_β будет равно 1 (нет дифференциации – все субпопуляции являются частями одной популяции). По имеющимся данным величина абсолютной дифференциации составила, примерно, 1,5 эффективной породной выборки (фактически – 7 выборок). В относительных единицах $D'_\beta = 36,2 \%$,

т. е. по частотам аллельные профили выборок различались в среднем на 36,2 % и на 63,8 % ($100 - D'_\beta = O'_\beta$) перекрывались. В усреднённой породной выборке гетерозиготность по энтропии составила 76,5 %, общая по объединённым выборкам – 82,1 % (соответствующие H_e были 0,658 и 0,761 (табл. 1)).

Эффект внутривыборочной гетерозиготности. В предыдущих исследованиях [10, 11] на тех же STR-данных было показано, что высокая внутривыборочная гетерозиготность (cH_s), характерная для микросателлитов, являлась причиной получения существенно заниженных оценок β -разнообразия методами Нея и AMOVA⁴. Была проведена проверка влияния уровня cH_s на шенноновские оценки ($^sH_{AP}$, D'_β и D'_β). Для этого имеющийся набор данных был разделён на 11 псевдонаборов –

каждый с разным локусом. По этим псевдонаборам были рассчитаны cH_s (а также n_a и n_e) и оценки $^sH_{AP}$, D'_β и D'_β . Затем была сформирована выборка с шестью переменными (n_a , n_e , cH_s , $^sH_{AP}$, D'_β и D'_β) и 11 записями, по которой были проведены регрессионно-корреляционные анализы (рис. 2).

Разброс полокусных оценок $^sH_{AP}$ (рис. 2, слева) и линия регрессии свидетельствовали об их [оценках] независимости от уровня внутривыборочной гетерозиготности. Это подтверждал и нулевой коэффициент детерминации ($R^2 = 0,001$). В то же время распределение оценок D'_β (рис. 2, справа) указывало на наличие положительной регрессии. Однако коэффициент детерминации этой тенденции был недостаточно высоким ($R^2 = 0,55$).

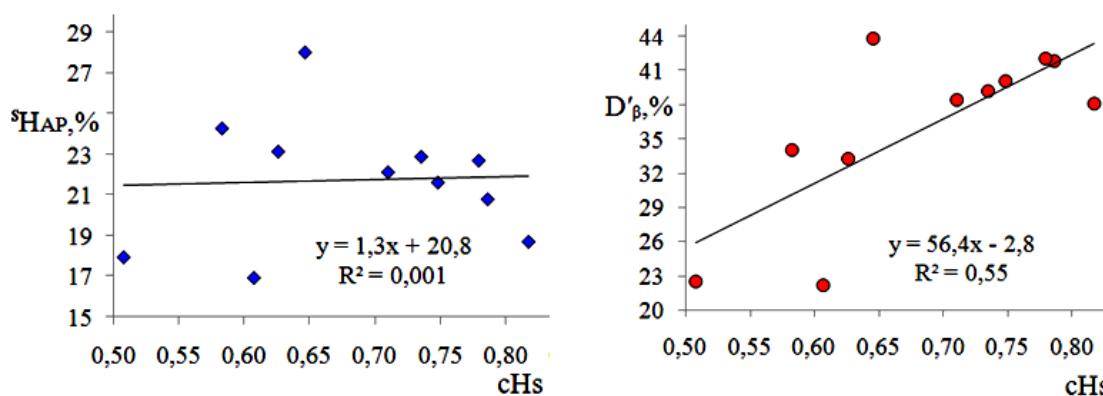


Рис. 2. Распределение полокусных оценок $^sH_{AP}$ и D'_β в зависимости от внутривыборочной гетерозиготности (cH_s). Распределение D'_β было аналогично распределению D'_β /

Fig. 2. Distribution of polocus estimates of $^sH_{AP}$ and D'_β (estimates for each locus) depending on intrasample heterozygosity (cH_s). The distribution of D'_β was similar to the distribution of D'_β

Распределение D'_β было аналогично распределению D'_β . Взаимосвязь D'_β и D'_β оценок с числом аллелей на локус (n_a), как и с числом эффективных аллелей (n_e), также была схожей. Коэффициенты корреляции по Пирхнеру составляли: с n_a – 0,64 ($p_{value} = 0,031$), с n_e – 0,75 ($p_{value} = 0,007$); корреляции по Кендаллу были 0,41 ($p_{value} = 0,078$) и 0,52 ($p_{value} = 0,025$) соответственно.

Сравнение с оценками по другим методам. Было проведено сопоставление показателей β -разнообразия породных выборок, полученных в модуле Shennon программы GenAlEx ($^sH_{AP}$ и D'_β), с таковыми, рассчитанными ранее

в модуле G-Statistics (по Нею – G_{ST} , с поправкой Хедрика на гетерозиготность – $G''_{ST(HED)}$) и по Джосту – D_{JOST}), в модуле AMOVA (по Вейру и Кокерхэму – $F_{ST(W\&C)}$, с поправкой на гетерозиготность – $F'_{ST(W\&C)}$), а также с оценкой методом Чао-Морисита-Хорна, рассчитанной в программе SpadeR (D_{CHAO}) [29]. Результаты представлены в таблице 3.

Оценка разнообразия Шеннона ($D'_\beta = 36,2$ %) была близка к скорректированным на внутривыборочную гетерозиготность оценкам по Нею и AMOVA ($G''_{ST(HED)} = 37,5$ % и $F'_{ST(W\&C)} = 35,1$ %) и на 6,6 процентных пункта превышала оценки аллельной дифференциации по Джосту и Чао

⁴Заметим, при анализе выборок по двуаллельным SNP'ам (однонуклеотидный полиморфизм) меры дифференциации, основанные на гетерозиготности, корректны только в случае сравнения двух выборок, или если несколько выборок анализируются попарно [4].

($D_{JOST} = 29,2\%$ и $D_{CHAO} = 30,8\%$). Информационная мера Шеннона ($S_{HAP} = 21,8\%$) занимала промежуточное положение между оценками аллельной дифференциации (D_{JOST} , D_{CHAO}) и нескорректированными индексами фиксации (G_{ST} , $F_{ST(W\&C)}$). Последние были на

уровне 10 % и характеризовали не уровень аллельной дифференциации породных выборок, а степень приближения к состоянию полной фиксации аллелей, когда каждое животное является гомозиготным по исследуемому локусам [30].

Таблица 3 – Оценки β -разнообразия, рассчитанные разными методами по одним и тем же STR-данным / Table 3 – Estimates of β -diversity, calculated by different methods using the same STR data

Мера / Measure	Est., %	p_{perm}	95CI _U	95CI _L	Источник / Source
$G_{ST(NEI)}$	10,3	0,001	8,0	13,0	[10]
$F_{ST(W\&C)}$	10,8	0,001	8,6	13,3	[11]
$G''_{ST(HED)}$	37,5	0,001	32,4	42,9	[10]
$F'_{ST(W\&C)}$	35,1	0,001	28,0	43,0	[11]
D_{JOST}	29,2	0,001	24,4	33,9	[10]
D_{CHAO}	30,8	-	27,5	34,2	[11]
S_{HAP}	21,8	0,001	-	-	Table 2
D'_{β}	36,2	0,001	-	-	Table 2

Примечания: Est. – оценка; 95 %; CI – 95 % доверительный интервал; субиндексы L и U – нижняя и верхняя границы CI /

Notes: Est. – estimate; 95 %; CI – 95 % confidence interval; subindexes L and U – lower and upper bounds of CI.

Коэффициенты корреляции Пирхнера полокусных D'_{β} -оценок были статистически значимыми только с D_{JOST} - и D_{CHAO} -оценками ($r = 0,6$; $p_{value} = 0,049$). Ранговая корреляция Кендалла составляла 0,35 ($p_{value} = 0,14$) и информировала о том, что с вероятностью 86 % совпадение рангов оценок возможно у $\frac{2}{3}$ пар.

Ординация породных выборок. Относительная оценка β -разнообразия Шеннона ($D'_{\beta} = 36,2\%$) характеризовала обобщённую аллельную дифференциацию породных выборок, нивелируя двухсторонние генетические отношения. В таблице 4 представлена матрица генетических дистанций (Genetic Distance, GD) между аллельными профилями всех попарных комбинаций семи породных выборок.

Таблица 4 – Треугольная матрица парных генетических дистанций (под диагональю – D'_{β} -оценки, над диагональю – p_{perm}) /

Table 4 – Triangular matrix of paired genetic distances (under the diagonal – D'_{β} -estimates, above the diagonal – p_{perm})

Порода / Breed	JER	AYR	RDAT	RSH	H-DEU	H-NLD	H-USA
JER	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
AYR	0,502	-	0,227	0,203	0,001	0,001	0,001
RDAT	0,537	0,180	-	0,110	0,001	0,001	0,001
RSH	0,593	0,169	0,198	-	0,001	0,001	0,001
H-DEU	0,508	0,422	0,420	0,419	-	0,168	0,286
H-NLD	0,460	0,379	0,404	0,408	0,120	-	0,001
H-USA	0,526	0,439	0,402	0,426	0,115	0,179	-

С вероятностью ошибки $\alpha_{Bonf} = 0,0024$ (множественный тест Бонферрони) из 21 парного сравнения 16 оценок GD были статистически значимыми ($p_{perm} < \alpha_{Bonf} = 0,0024$). Оцен-

ки GD между джерсейской (JER) и остальными породными выборками были в пределах 50-60 % ($p_{perm} < 0,001$). GD среди красных пород (AYR, RDAT и RSH) были на уровне 20 %, GD между джерсейской (JER) и остальными породными выборками были в пределах 50-60 % ($p_{perm} < 0,001$). GD среди красных пород (AYR, RDAT и RSH) были на уровне 20 %, GD между джерсейской (JER) и остальными породными выборками были в пределах 50-60 % ($p_{perm} < 0,001$).

но статистически *незначимые*. Среди голштинских экотипов (H-DEU, H-NLD и H-USA) статистически значимая была только GD между H-NLD и H-USA выборками ($D'_\beta = 18\%$). Между красными породами и голштинскими экотипами GD были на уровне 40 % ($p_{perm} < 0,001$)⁵.

Для выявления структурной дифференциации пород в пространстве был использован анализ главных координат (Principal Coordinate Analysis, PCoA). Метод PCoA проецирует данные матрицы GD между породами в достаточно адекватный 2D (3D) график *ординации* – взаимном расположении пород при минимально возможном искажении расстояния между ними. Скрытая в D'_β -матрице пространственная генетическая структура породных выборок визуализирована на рисунке 3.

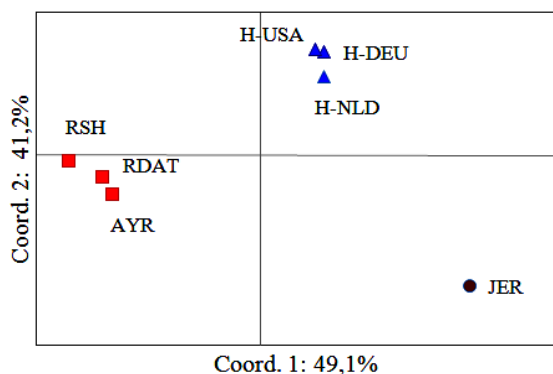


Рис. 3. Ординация породных выборок в двумерном пространстве (PCoA по D'_β -матрице) /

Fig. 3. Ordination of the breed samples in two-dimensional space (PCoA by the D'_β -matrix)

Две координаты суммарно объясняли 90,3 % общей дисперсии, заключённой в матрице GD. Следовательно, двумерное решение было адекватным, а информативность PCoA достаточно высокой (потеря информации 9,7 %). На 2D диаграмме PCoA выделил кластер «красных» пород (RED), кластер голштинских «экотипов» (HOL) и ветку джерсейской породы (JER).

Малые статистически незначимые (5 из 6) GD между породными выборками в пределах кластеров свидетельствовали о большом сходстве аллельных профилей и возможности рассмотрения их, как две «породы»: RED и HOL. Сводная оценка аллельной дифференциации укрупнённых выборок (JER, RED и HOL) составила $D'_\beta = 38,6\%$ с $p_{perm} < 0,001$ (на 7 % больше, чем по семи породным выборкам). Соответствующие сводные оценки по AMOVA ($F'_{ST(W\&C)}$) и D_{JOST} были 45,3 и 42,7 % [11]. Ниже представлены парные по укрупнённым породным выборкам GD (%):

GD	D'_β	$F'_{ST(W\&C)}$ [11]	D_{JOST} [11]
JER - RED	45	65	55
JER - HOL	42	51	41
RED - HOL	34	37	29.

Генетические дистанции, рассчитанные разными методами, были достаточно близки и имели общую тенденцию: $GD_{JER-RED} > GD_{JER-HOL} > GD_{RED-HOL}$ (большая вероятность перекрытия интервальных оценок).

Данные по группам RED и HOL (регионам, Regs) были подвергнуты двухуровневой декомпозиции, результаты которой представлены в таблице 5.

Межрегиональная компонента (Among Regs) информации (S_{HAR} , %) составила 11,0 %, разнообразия Шеннона (D'_β) – 34,3 %. Последняя хорошо соответствовала оценке GD между «породами» RED и HOL – 34 %. Аллельная дифференциация породных выборок в пределах регионов была в 2,2 раза ниже, чем «регионов» ($D'_\beta = 15,9\%$). Перекрытие частот аллелей (общих аллелей) в породных выборках (O'_β) было 84,1 %, в регионах (O'_δ) – 65,7 %. Уровни гетерозиготности по энтропии ($D'_\alpha = 77,8\%$ и $D'_\gamma = 81,7\%$) незначительно отличались от таковых в таблице 2 (76,5 и 82,1 %).

⁵Для сравнения: GD современной голштинской породы с локальными, архивными и древними образцами ДНК российских пород были в разы меньше. Например, с черно-пестрой породой (1970-1980-х гг.) – 8,4 % [31], с печёрским скотом – 4,1 % [32], с ярославской породой и великорусским скотом (конец XIX начало XX веков) – 6,2 и 1,6 % [33]. Получается, что русский обыкновенный (великорусский) скот (по акад. А. Ф. Миддендорфу – «первичнолесной», «горемычки» и «тосканки» (Миддендорф А. Ф. Отчет о породе крупного рогатого скота Северной России и улучшении его. Исследование современного состояния скотоводства в России: Рогатый скот. М., 1884-1885); по проф. Н. П. Чирвинскому – «северный»; по К. С. Трипольскому – «беспородистый» [34]) на 98,4 % был «genetic relationship» голштинской породе, которая десятилетиями интенсивно селекционировалась, т. е. «горемычки» и голштинки – члены одной популяции!? Отметим, что независимо от меры разнообразия/дифференциации, если выборки небольшие, то некоторые редкие аллели (суб)популяций будут в них отсутствовать. Это означает, что выборочные частоты будут систематически завышать фактические частоты аллелей в (суб)популяциях и, следовательно, недооценивать разнообразие и смещать оценки дифференциации.

Таблица 5 – Двухуровневая декомпозиция информационной меры Шеннона /
Table 5 – Two-level decomposition of the Shannon information measure

Источник / Source Inform.	SH	$^SH, \%$	$D = \exp(^SH)$	$D', \%$	$O', \%$	P_{perm}
Among Regs, AR – (δ)	0,183	11,0	1,20	34,3	65,7	0,001
Among Pops, AP – (β)	0,112	6,6	1,12	15,9	84,1	0,001
Within Pops, WP – (α)	1,376	82,4	3,96	77,8	22,2	1,000
Total, GT – (γ)	1,670	100,0	5,31	81,7	18,3	-

Ординация мер дифференциации. Пространственная структура аллельного разнообразия породных выборок на рисунке 3 визу-

ально была очень схожа с таковыми по матрицам иных мер дифференциации [10, 11], хотя оценки GD существенно отличались (табл. 6).

Таблица 6 – Треугольные матрицы парных генетических дистанций, рассчитанных семью методами (табличный формат) /

Table 6 – Triangular matrixes of paired genetic distances, calculated by seven methods (table format)

BR1	BR2	$G_{ST(NEI)}$	$F_{ST(W\&C)}$	$G''_{ST(HED)}$	$F'_{ST(W\&C)}$	D_{JOST}	D_{CHAO}	D'_{β}
JER	AYR	0,122	0,217	0,590	0,590	0,477	0,447	0,502
JER	RDAT	0,143	0,250	0,663	0,663	0,551	0,510	0,537
AYR	RDAT	0,001	0,001	0,005	0,005	0,003	0,034	0,180
JER	RSH	0,159	0,275	0,728	0,729	0,626	0,558	0,593
AYR	RSH	0,004	0,008	0,026	0,026	0,019	0,040	0,169
RDAT	RSH	0,003	0,005	0,017	0,017	0,012	0,027	0,198
JER	H-DEU	0,102	0,181	0,524	0,522	0,417	0,439	0,508
AYR	H-DEU	0,060	0,112	0,401	0,401	0,325	0,339	0,422
RDAT	H-DEU	0,064	0,120	0,417	0,416	0,337	0,321	0,420
RSH	H-DEU	0,064	0,119	0,416	0,414	0,336	0,315	0,419
JER	H-NLD	0,092	0,163	0,501	0,498	0,401	0,408	0,460
AYR	H-NLD	0,046	0,089	0,335	0,337	0,270	0,286	0,379
RDAT	H-NLD	0,053	0,100	0,371	0,371	0,300	0,300	0,404
RSH	H-NLD	0,056	0,105	0,388	0,388	0,316	0,305	0,408
H-DEU	H-NLD	0,004	0,008	0,032	0,034	0,024	0,037	0,120
JER	H-USA	0,123	0,216	0,565	0,563	0,443	0,472	0,526
AYR	H-USA	0,065	0,124	0,387	0,389	0,302	0,314	0,439
RDAT	H-USA	0,065	0,123	0,377	0,377	0,289	0,292	0,402
RSH	H-USA	0,064	0,121	0,372	0,372	0,285	0,288	0,426
H-DEU	H-USA	0,003	0,006	0,019	0,020	0,014	0,032	0,115
H-NLD	H-USA	0,015	0,030	0,107	0,107	0,079	0,086	0,179

Примечания: BR – порода. На $G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$ оценки влиял уровень гетерозиготности выборок. В $G''_{ST(HED)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$ оценках влияние гетерозиготности устранено. На D-оценки уровень гетерозиготности выборок не оказывает влияние /

Notes: BR – breed. The $G_{ST(NEI)}$ and $F_{ST(W\&C)}$ estimates were influenced by the level of heterozygosity of the samples. In the $G''_{ST(HED)}$ and $F'_{ST(W\&C)}$ estimates, the influence of heterozygosity is eliminated. The level of heterozygosity of the samples does not affect the D-estimates

Информационная мера Шеннона непредвзято учитывала вклад низкочастотных аллелей. Возможно, именно этим свойством объясняется то, что GD по D'_{β} -мере между породными выборками AYR и RDAT, AYR и RSH, RDAT и RSH, H-DEU и H-NLD, H-DEU и H-USA

были в разы больше, чем по остальным мерам аллельной дифференциации.

Для оценки сходства матриц GD в таблице 6 использован тест Мантеля (Mantel correlation, R_M). Результаты представлены в таблице 7.

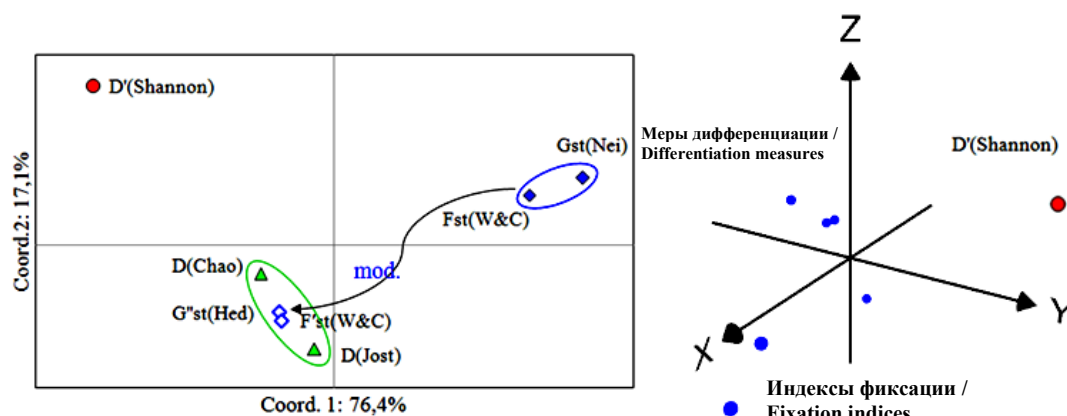
Таблица 7 – Корреляции Мантеля между матрицами генетических дистанций, рассчитанных разными методами (сходство матриц) /

Table 7 – Mantel correlations between genetic distance matrixes calculated by different methods (similarity of matrixes)

Мера / Measure	$G_{ST(NEI)}$	$G''_{ST(HEd)}$	$F_{ST(W\&C)}$	$F'_{ST(W\&C)}$	D_{JOST}	D_{CHAO}
$G''_{ST(HEd)}$	0,973	-	-	-	-	-
$F_{ST(W\&C)}$	0,999	0,982	-	-	-	-
$F'_{ST(W\&C)}$	0,973	1,000	0,982	-	-	-
D_{JOST}	0,976	0,998	0,983	0,998	-	-
D_{CHAO}	0,971	0,997	0,978	0,997	0,994	-
D'_β (Shannon)	0,938	0,982	0,950	0,981	0,975	0,984

Коэффициенты R_M были в диапазоне $0,938 \div 1,0$. Их большое число и малые различия делали проблематичным выявление каких-либо структурных отношений между мерами. Поэтому были привлечены методы многомерной статистики для визуализации возможной структуры. Предварительно коэффициенты R_M матрицы сходства (табл. 7) были трансформированы в коэффициенты «несходства» ($= 1 - R_M$), чтобы сформировать матрицу дистанций между метриками (не приводится). Её проекции представлены на рисунке 4 в двумерной плоскости (слева; модуль PCoA программы GenAlEx) и в трёхмерном пространстве (справа; программа Graphing Calculator 3D).

Информативность PCoA составила $76,4 + 17,1 = 93,5\%$ (потеря информации 6,5 %). Первая координата отделила семейство мер индексов фиксации ($G_{ST(NEI)}$, $F_{ST(W\&C)}$) от семейства мер аллельной дифференциации. Вторая координата выделила методы аллельной дифференциации на основе гетерозиготности (D_{JOST} , D_{CHAO} , $G''_{ST(HEd)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$). При этом $G''_{ST(HEd)}$ - и $F'_{ST(W\&C)}$ -меры – модифицированные индексы фиксации (устранено влияние уровня внутривыборочной гетерозиготности). В общем, PCoA-процедура сформировала кластер индексов фиксации $\{G_{ST(NEI)}, F_{ST(W\&C)}\}$, кластер мер аллельной дифференциации $\{D_{JOST}, D_{CHAO}$ и $G''_{ST(HEd)}, F'_{ST(W\&C)}\}$ и отдельно выделила информационную меру β -разнообразия Шеннона $\{D'(\text{Shannon})\}$.

Рис. 4. 2D и 3D ординации семи мер популяционной дифференциации (mod. – модификация $G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$) /Fig. 4. 2D and 3D ordinations of seven measures of population differentiation (mod. – modification of $G_{ST(NEI)}$ and $F_{ST(W\&C)}$)

Небольшие расстояния между мерами внутри кластеров указывали на их подобие; большие расстояния между кластерами (включая «ветку») свидетельствовали об их отличии. По аналогии с «генетическими», расстояния

между точками-мерами можно было бы назвать «методическими». Но, например, несмотря на большие различия в методиках расчёта $G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$, эти метрики образовали общий кластер. Поэтому в данном случае

для расстояний/дистанций, возможно, больше подходит определение «концептуальные». И этому имеется некоторое обоснование, именно: в основе мер $G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$ – концепция фиксации аллелей, меры D_{JOST} , D_{CHAO} , $G'_{ST(NEI)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$ базируются, в общем, на гетерозиготности, D'_β -мера – на теории информации. Концептуальные различия метрик выразились в коэффициентах матрицы несходства и через PCoA-процедуру визуализировались в их ординации, которая, на наш взгляд, представляется вполне логичной.

3D-проекция (рис. 4, справа) дополнительно учла 4,4 % дисперсии (ось Z) матрицы несходства и сократила потерю информации до $100 - (93,5 + 4,4) = 2,1$ %. Но, как и следовало ожидать, это существенно не отразилось на ординации исследуемых метрик.

Степенные меры разнообразия. Хиллом [13] в 1973 году была представлена *единая концепция разнообразия* с семейством *степенных мер* вида (Hill's numbers – «числа Хилла»):

$${}_qD \equiv \left[\sum_{m=1}^M p_m^q \right]^{1/(1-q)} = ({}^q\lambda)^{1/(1-q)}.$$

${}_qD$ называют «*истинным разнообразием порядка q*». Показатель степени «q» в правой части тождества ($\equiv$) есть «порядок» меры разнообразия. Степенные меры производят оценки *эффективного числа элементов*, в частности, аллелей и отличаются только своей возможностью учитывать или игнорировать редкие аллели. По мере увеличения порядка q меры ${}_qD$ становятся всё более чувствительными к частотам аллелей. Так, при $q = 0$ мера ${}_0D$ игнорирует распространённость (частоту) аллелей и выражает разнообразие через аллельное богатство. Значения q между нулём и единицей придают в ${}_qD$ больший вес редким аллелям. Когда $q = 1$, то мера ${}_1D$ уравнивает вклады богатства и распространённости. Порядки выше 1 придают больший вес наиболее распространённым аллелям. При $q = 2$ мера ${}_2D$ подчёркивает выравненность аллелей больше, чем богатство, и равна эффективному числу аллелей по гетерозиготности.

Критическая точка, которая взвешивает все аллели по их частотам (не отдавая предпочтения ни доминирующим, ни редким аллелям), при $q = 1$. ${}_qD$ при $q = 1$ не определено, но его предел существует и равен экспоненте энтропии Шеннона – ${}_1D = \exp({}^SH)$! Важно, мера ${}_1D$ была получена Хиллом не из информационной теории, а выведена естественным путём из формализации числовых эквивалентов [27].

Мера ${}_1D$ – это «эффективное число аллелей по энтропии» (в табл. 1 как D или Sn_e). ${}_1D$ наиболее подходящая мера γ -разнообразия. ${}_1Du$ также единственное «истинное» разнообразие, которое можно разложить на независимые α - и β -разнообразия.

Мера ${}_1D$ – противоположность мерам, основанным на гетерозиготности, которые имеют порядок $q = 2$ и придают непропорционально больший вес более распространённым аллелям. Поэтому, если интерес представляют только доминирующие аллели, то для оценки разнообразия следует использовать меру с $q = 2$; в противном случае меру с $q = 1$. В то же время имеется мнение [4, 35], что необходимо использовать несколько мер одновременно для оценивания различных аспектов разнообразия, к которым каждая мера наиболее чувствительна (рис. 1 в качестве примера). Считается полезным использовать числа Хилла порядка $q = 0, 1, 2$, чтобы получить всестороннюю характеристику разнообразия популяции [36]. Например, если разнообразие порядка $q = 0$ намного больше, чем разнообразие порядка $q = 1$ и 2, то это указывает на то, что в популяции имеется несколько редких аллелей, и частоты аллелей очень неравномерны. Также, очень похожие показатели разнообразия порядка $q = 1$ и 2 указывают на то, что в популяции доминируют несколько аллелей.

Непрерывный *профиль разнообразия*, который отображают числа Хилла порядка $q \geq 0$, содержит всю информацию о распределении аллелей (степени доминирования/концентрации) в популяции. Популяция с равночастотными аллелями будет иметь горизонтальный профиль разнообразия без какого-либо снижения. Популяция с высокой степенью концентрации аллелей будет иметь профиль разнообразия, резко снижающийся по мере увеличения q. Профили разнообразия – это наиболее полный и наглядный способ передачи информации о разнообразии систем (пород, видов, сортов). Их использование может способствовать принятию выверенных решений, например, по сохранению генофондных стад.

Заключение. Индекс Шеннона (${}^SH = -\sum p_m \ln p_m$) – это показатель «количества информации или возможности выбора, или энтропии», но не разнообразия. Экспоненциальная функция конвертирует SH в интуитивно понятный показатель разнообразия, выражаемый *эффективным числом элементов* (D).

В частности, показатель по объединённым субпопуляциям, S_{HGT} , конвертируется в D_γ -разнообразие – эффективное число аллелей по энтропии в популяции; средневзвешанный по субпопуляциям – S_{HWP} , в D_α -разнообразии – эффективное число аллелей по энтропии в усреднённой субпопуляции; межсубпопуляционная компонента – S_{HAP} , в D_β -разнообразии – эффективное число субпопуляций. Компонентам информационной меры Шеннона свойственна аддитивность ($S_{HGT} = S_{HWP} + S_{HAP}$), меры разнообразия Шеннона – мультипликативность ($D_\gamma = D_\alpha \times D_\beta$).

По семи породным выборкам абсолютное γ -разнообразие Шеннона составило 5,45, α -разнообразие – 3,76 *эффективных аллелей* [по энтропии], β -разнообразие – 1,45 *эффективных выборов*. Соответствующие масштабированные оценки (D' с диапазоном [0,1]) были 0,821, 0,765 и 0,362 (36,2 %). Последняя – сводная относительная оценка аллельной дифференциации породных выборов. Её дополнение, относительное перекрытие аллельных частот выборов, составило 63,8 %. Влияния уровня внутривыборочной гетерозиготности на полокусные S_{HAP} -оценки не было установлено (в отличие от $G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$ мер), но имела место положительная тенденция D'_β -оценок.

Сводная по породным выборкам D'_β -оценка была в 3 раза выше оценок по $G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$ мерам. Но последние не показатели аллельной дифференциации, а индексы фиксации. Они корректно указывали на то, что аллели в породных выборках очень далеки до полной гомозиготности. Индексы фиксации, скорректированные на уровень внутривыборочной гетерозиготности ($G''_{ST(HEd)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$), производили оценки, которые были очень близки к D'_β . Несколько ниже, чем D'_β , но с 95 %-м доверительным интервалом $24 \div 34$ % были оценки по D_{JOST} и D_{CHAO} мерам.

Тест Мантеля показал высокую связь матрицы парных генетических дистанций (D'_β) между породами с таковыми, полученными по $G_{ST(NEI)}$, $F_{ST(W\&C)}$, $G''_{ST(HEd)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} и D_{CHAO} мерам ($R_M = 0,94 \div 0,98$). Как и в предыдущих исследованиях, на 2D-проекции D'_β -матрицы выделились группа «красных»

пород, группа голштинских «экотипов» и отдельно джерсейская порода. Ординация породных выборов имела достаточно большое сходство с ординациями по другим шести мерам разнообразия.

РСоА матрицы попарных оценок *несходства семи метрик* популяционной структуры визуализировал их ординацию на двумерной плоскости. В частности, выделялась мера аллельной дифференциации Шеннона (D'_β) и на значительном удалении от неё – семейство индексов фиксации ($G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$) и семейство мер аллельной дифференциации на базе гетерозиготности ($G''_{ST(HEd)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} и D_{CHAO}). Чтобы решить какую меру разнообразия/дифференциации следует использовать, надо знать, во-первых, что собираемся измерять, во-вторых, к чему чувствительна та или иная мера. Так, если задача исследования заключается в изучении демографических изменений и эволюционных историй популяций, то используются индексы фиксации ($G_{ST(NEI)}$ и $F_{ST(W\&C)}$). Если же ставится задача оценки актуальных генетических различий между (суб)популяциями, то лучше применять меры аллельной дифференциации ($G''_{ST(HEd)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} , D_{CHAO} , D'_β). При этом если интерес представляют только доминирующие (высокочастотные) аллели, то следует воспользоваться мерами $G''_{ST(HEd)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, D_{JOST} и D_{CHAO} . Если же стоит задача получения наиболее полной информации об имеющихся аллельных различиях (суб)популяций, то лучшим является чувствительный шенноновский анализ (мера D'_β). Он взвешивает количество энтропии в m -ой аллели ($-\log p_m$) пропорционально её распространённости (p_m) и одновременно принимает во внимание несбалансированность (суб)популяций. Важно выбрать меру, которая будет отражать «эффект интереса», а затем интерпретировать фактические величины и их доверительные интервалы. Шенноновские информационно-энтропийные конструкции могут быть альтернативным подходом к количественной оценке биоразнообразия в иерархии от генов до экологических систем (включая различные виды генетической информации).

References

1. Хедрик Ф. Генетика популяций. М.: Техносфера, 2003. 592 с.
Hedrick P. W. *Genetika populyatsii* [Genetics of populations]. Moscow: «Technosfera», 2003. 592 p.
2. Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1973;70(12):3321-3323.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.70.12.3321>
3. Jost L. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. Ecology. 2007;88(10):2427-2439.
DOI: <https://doi.org/10.1890/06-1736.1>

4. Jost L., Archer F., Flanagan S., Gaggiotti O., Hoban S., Latch E. Differentiation measures for conservation genetics. *Evol. Appl.* 2018;11(7):1139-1148. DOI: <https://doi.org/10.1111/eva.12590>
5. Weir B. S., Cockerham C. C. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*. 1984;38(6):1358-1370. DOI: <https://doi.org/10.2307/2408641>
6. Meirmans P. G., Hedrick P. W. Assessing population structure: F_{ST} and related measures. *Mol. Ecol. Res.* 2011;11(1):5-18. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02927.x>
7. Jost L. G_{ST} and its relatives do not measure differentiation. *Mol. Ecol.* 2008;17(18):4015-4026. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03887.x>
8. Кузнецов В. М. F-статистики Райта: оценка и интерпретация. Проблемы биологии продуктивных животных. 2014;(4):80-104. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22833217>
Kuznetsov V. M. *F-statistiki Rayta: otsenka i interpretatsiya*. [Wright's F-statistics: estimation and interpretation]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* = Problems of Productive Animal Biology. 2014;(4):80-104. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22833217>
9. Кузнецов В. М. Методы Ней для анализа генетических различий между популяциями. Проблемы биологии продуктивных животных. 2020;(1):91-110. DOI: <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.1.91-110>
Kuznetsov V. M. *Metody Ney dlya analiza geneticheskikh razlichiy mezhdu populyatsiyami*. [Nei's methods for analyzing genetic differences between populations]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* = Problems of Productive Animal Biology. 2020;(1):91-110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.1.91-110>
10. Кузнецов В. М. Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):169-182. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>
Kuznetsov V. M. *Sravnenie metodov otsenki geneticheskoy differentsiatsii populyatsiy po mikrosatelitnym markeram*. [Comparison of methods for evaluating genetic differentiation of populations by microsatellite markers]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):169-182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>
11. Кузнецов В. М. Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):167-187. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.167-187>
Kuznetsov V. M. *Otsenka geneticheskoy differentsiatsii populyatsiy molekulyarnym dispersionnym analizom (analiticheskiy obzor)*. [Assessment of genetic differentiation of populations by analysis of molecular variance (analytical review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):167-187. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.167-187>
12. Lewontin R. C. The apportionment of human diversity. *J. Evol. Biol.* 1972;6:381-398. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-9063-3_14
13. Hill M. O. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequence. *Ecology*. 1973;54(2):427-432. DOI: <https://doi.org/10.2307/1934352>
14. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication. Reprinted with corrections from. *The Bell System Technical Journal*. 1948;27(3):379-423, 623-656. URL: <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>
15. Ashby W. R. An introduction to cybernetics. Chapman & Hall LTD, London, 1956. 295 p. URL: <https://archive.org/details/introductiontocy00ashb/page/294/mode/2up>
16. Corso G., Ferreira G. M. F., Lewinsohn T. M. Mutual Information as a General Measure of Structure in Interaction Networks. *Entropy* 2020;22(5): 528. DOI: <https://doi.org/10.3390/e22050528>
17. Sheldon A. L. Equitability indices: Dependence on the species count. *Ecology*. 1969;50(3): 466-467. DOI: <https://doi.org/10.2307/1933900>
18. Sherwin W. B. Entropy and Information Approaches to Genetic Diversity and its Expression: Genomic Geography. *Entropy*. 2010;12(7):1765-1798. DOI: <https://doi.org/10.3390/e12071765>
19. Харзинова В. Р., Гладырь Е. А., Федоров В. И., Романенко Т. М., Шимит Л. Д., Лайшев К. А., Калашникова Л. А., Зиновьева Н. А. Разработка мультиплексной панели микросателлитов для оценки достоверности происхождения и степени дифференциации популяций северного оленя *Rangifer Tarandus*. Сельскохозяйственная биология. 2015;50(6):756-765. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756rus>
Kharzinova V. R., Gladys' E. A., Fedorov V. I., Romanenko T. M., Shimit L. D., Layshev K. A., Kalashnikova L. A., Zinovieva N. A. *Raz-rabotka mul'tipleksnoy paneli mikrosatelitov dlya otsenki dostovernosti proiskhozhdeniya i stepeni differentsiatsii populyatsiy severnogo olenya Rangifer Tarandus*. [Development of multiplex microsatellite panel to assess the parentage verification in and differentiation degree of reindeer populations (*Rangifer Tarandus*)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2015;50(6): 756-765. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756rus>
20. Денискова Т. Е., Гладырь Е. А., Зиновьева Н. А. Характеристика некоторых российских пород овец по микросателлитным маркерам. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016;(9-1):24-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26704429>
Deniskova T. E., Gladys' E. A., Zinovieva N. A. *Kharakteristika nekotorykh rossiyskikh porod ovets po mikrosatelitnym markeram*. [Characteristics of some Russian sheep breeds by microsatellite markers]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2016;(9-1): 24-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26704429>
21. Rossetto M., Kooyman R., Sherwin W. B., Jones R. Dispersal limitations, rather than bottlenecks or habitat specificity, can restrict the distribution of rare and endemic rainforest trees. *Amer. J Botany*. 2008;95(3):321-329. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.95.3.321>

22. Peakall R., Smouse P. E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology* 2006;6(1):288-295. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
23. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012;28(19):2537-2539. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
24. Smouse P. E., Whitehead M., Peakall R. An informational diversity framework, illustrated with sexually deceptive orchids in early stages of speciation. *Mol. Ecol. Resour.* 2015;15(6):1375-1384. DOI: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12422>
25. STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual. By StatPoint Technologies, Inc. 2010. 297 p.
26. Kimura M., Crow J. F. The number of alleles that can be maintained in a finite population. *Genetics*. 1964;49(4):725-738. DOI: <https://doi.org/10.1093/genetics/49.4.725>
27. Jost L. Entropy and diversity. *Oikos*. 2006;113(2):363-375. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
28. Sherwin W. B., Jabot F., Rush R., Rossetto M. Measurement of biological information with applications from genes to landscapes. *Molec. Ecol.* 2006;15(10):2857-2869. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2006.02992.x>
29. Chao A., Ma K. H., Hsieh T. C., Chiu C. H. Online Program SpadeR (Species-richness Prediction And Diversity Estimation in R). Program and User's Guide. 2015. URL: http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/
30. Ma L., Ji Y.-J., Zhang D.-X. Statistical measures of genetic differentiation of populations: Rationales, history and current states. *Current Zoology*. 2015;61(5):886-897. DOI: <https://doi.org/10.1093/czoolo/61.5.886>
31. Доцев А. В., Сермягин А. А., Шахин А. В., Паронян И. А., Племяшов К. В., Рейер Х., Виммерс К., Брем Г., Зиновьева Н. А. Оценка современного состояния генофонда холмогорской и чернопестрой пород крупного рогатого скота на основе полногеномного SNP-анализа. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(6):742-747. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.418>
- Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Shakhin A. V., Paronyan I. A., Plemyashov K. V., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N. A. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya genofonda kholmogorskoj i cherno-pestroy porod krupnogo rogatogo skota na osnove polnogenomnogo SNP-analiza*. [Evaluation of current gene pool of Kholmogor and Black-and-white cattle breeds based on whole genome SNP analysis]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(6): 742-747. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.418>
32. Волкова В. В., Романенкова О. С., Денискова Т. Е., Мишина А. И., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Характеристика аллелофонда холмогорской породы крупного рогатого скота с использованием STR-маркеров. *Молочное и мясное скотоводство*. 2019;(7): 3-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41852279>
- Volkova V. V., Romanenkova O. S., Deniskova T. E., Mishina A. I., Kostyunina O. V., Zinovieva N. A. *Kharakteristika allelofonda kholmogorskoj porody krupnogo rogatogo skota s ispol'zovaniem STR-markerov*. [Assessment of the allele pool of the kholmogory cattle breed with using STR-markers]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2019;(7):3-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41852>
33. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Mishina A. I., Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Boronetskaya O. I., Petrikeeva L. V., Chinarov R. Yu., Brem G., Zinovieva N. A. Genetic diversity of the historical and modern populations of Russian cattle breeds revealed by microsatellite analysis. *Genes*. 2020;11(8):940. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11080940>
34. Трипольский К. С. Курс скотоводства. Руководство к разведению рогатого скота, овец, лошадей и свиней. Часть 2. Частное скотоводство. С.-Петербург: Издание А. Ф. Девриена, 1875. 429 с.
- Tripol'skiy K. S. *Kurs skotovodstva. Rukovodstvo k razvedeniyu rogatogo skota, ovets, loshadey i sviney*. [Cattle breeding course. A guide to breeding cattle, sheep, horses and pigs]. Part. 2. *Chastnoe skotovodstvo*. [Private cattle breeding]. S.-Petersburg: *Izdanie A. F. Devriena*, 1875. 429 p.
35. Ricotta C. On parametric evenness measures. *J. of Theoret. Biol.* 2003;222(2):189-197. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(03\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(03)00026-2)
36. Gaggiotti O. E., Chao A., Peres-Neto P., Chiu C.-H., Edwards C., Fortin M.-J., Jost L., Richards C. M., Selkoe K. A. Diversity from genes to ecosystems: A unifying framework to study variation across biological metrics and scales. *Evol Appl.* 2018;11(7):1176-1193. DOI: <https://doi.org/10.1111/eva.12593>

Сведения об авторе

✉ Кузнецов Василий Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, зав. лабораторией популяционной генетики в животноводстве, 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/0000-0002-2219-805X>, e-mail: vm-kuznetsov@mail.ru

Information about the author

✉ Vasilii M. Kuznetsov, DSc in Agricultural Science, professor, Head of the Laboratory of Population Genetics in Animal Husbandry, 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/0000-0002-2219-805X>, e-mail: vm-kuznetsov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183>

УДК 631.527:633.11 «321» (571.1)

Высококачественный сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 для условий Западной Сибири и Омской области© 2022. И. А. Белан, Л. П. Россеева, Ю. П. Григорьев✉, И. В. Пахотина
ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация

В 2015-2018 гг. в условиях Омской области проведена комплексная оценка перспективного селекционного материала пшеницы мягкой яровой. Для передачи на государственное сортоиспытание подготовлен среднеспелый сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 с комплексом адаптивно-ценных свойств и признаков для возделывания в лесостепной зоне Омской области. Сорт Омская 44 создан методом внутривидовой гибридизации и направленно-го индивидуального отбора из гибридной популяции Лютесценс 248/97-11 х Омская 38 (к-65566, Россия), передан на ГСИ в 2019 году для испытания в 9, 10 и 11 регионах Российской Федерации. Цель исследований: оценить результаты различных видов испытаний нового сорта пшеницы мягкой яровой Омская 44 в условиях Омской области. Сорт высокоурожайный среднеспелого типа, вегетационный период 88 суток, средняя урожайность за годы исследований в конкурсном сортоиспытании составила 4,47 т/га, что превышает сорт-стандарт Дуэт на 1,51 т/га ($HSP_{05} = 0,33$ т/га), максимальная урожайность 5,69 т/га. Результаты производственного испытания показали, что при посеве по пару в среднем за 2018-2021 гг. урожайность составила 4,65 т/га, у сорта-стандарт Дуэт – 3,02 т/га ($HSP_{05} = 0,29$ т/га), после зерновых – 3,43 т/га, сорт-стандарт – 2,67 т/га ($HSP_{05} = 0,27$ т/га). Новый сорт Омская 44 по урожайности значительно превосходит стандарт Дуэт и лучший сорт по лесостепной зоне Омская 38. Изучены параметры экологической пластичности нового сорта: коэффициент линейной регрессии $b_1 = 1,13$, показатель стабильности $\sigma_d^2 = 0,25$. Главные составляющие коммерческой ценности нового сорта Омская 44 – высокая и стабильная урожайность, резистентность к листовым болезням и формирование высококачественного зерна на уровне сильной пшеницы. В 2021 году сорт Омская 44 включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по лесостепной зоне Омской области.

Ключевые слова: урожайность, сортоиспытание, качество, пластичность, устойчивость к листовым болезням

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-016-00196. Поиск высококачественных сортов яровой мягкой пшеницы, адаптированных к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам окружающей среды, проводился при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № 0797-2014-0012).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Белан И. А., Россеева Л. П., Григорьев Ю. П., Пахотина И. В. Высококачественный сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 для условий Западной Сибири и Омской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):174-183. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183>

Поступила: 02.02.2022

Принята к публикации: 15.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

High-quality variety of soft spring wheat Omskaya 44 for the conditions of Western Siberia and Omsk region© 2022. Igor A. Belan, Lyudmila P. Rosseeva, Yuri P. Grigoriev✉,
Irina V. Pakhotina

Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russian Federation

In 2015-2018 in the conditions of the Omsk region, a comprehensive assessment of the promising breeding material of soft spring wheat was carried out. A mid-ripening variety of soft spring wheat Omskaya 44 with a complex of adaptive-valuable properties and traits for cultivation in the forest-steppe zone of the Omsk region has been prepared for the state variety testing. Variety Omskaya 44 created by the method of intraspecific hybridization and directional individual selection from the hybrid population Lutescens 248/97-11 x Omskaya 38 (k-65566, Russia) was sent for the State Variety Testing carried out in 9, 10 and 11 regions of the Russian Federation in 2019. The purpose of the research was to evaluate the results of various types of tests of a new variety of soft spring wheat Omskaya 44 in the conditions of the Omsk region. The variety is high-yielding, of mid-season type, the growing season is 88 days, the average yield over the years of research in competitive variety testing is 4.47 t/ha, which exceeds the standard variety Duet by 1.51 t/ha ($LSD_{05} = 0.33$ t/ha), the maximum yield is 5.69 t/ha. The results of the production test showed that when sowing fallow, in 2018-2021 the yield was 4.65 t/ha on the average, for the standard variety Duet - 3.02 t/ha ($LSD_{05} = 0.29$ t/ha), after cereals – 3.43 t/ha, for the standard variety –

2.67 t/ha ($LSD_{05} = 0.27$ t/ha). The new variety Omskaya 44 significantly exceeded the Duet standard and the best variety in the forest-steppe zone Omskaya 38 in terms of yield. The parameters of ecological plasticity of the new variety have been studied: linearity regression coefficient $b_i = 1.13$, stability factor $\sigma_d^2 = 0.25$. The basic components of commercial value of the new variety Omskaya 44 are high and stable yield, resistance to leaf diseases and the formation of high-quality grain at the level of strong wheat. In 2021 the variety Omskaya 44 was included in the State Register of Breeding Achievements approved for use in the forest-steppe zone of the Omsk region.

Keywords: yield, variety testing, quality, plasticity, resistance to leaf pathogens

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of the RFBR grant 20-016-00196. The search for high-quality varieties of spring soft wheat adapted to unfavorable biotic and abiotic environmental factors was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Omsk Agricultural Scientific Center (theme No. 0797-2014-0012).

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

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

For citation: Belan I. A., Rosseeva L. P., Grigoriev Yu. P., Pakhotina I. V. High-quality variety of soft spring wheat Omskaya 44 for the conditions of Western Siberia and Omsk region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):174-183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183>

Received: 02.02.2022

Accepted for publication: 15.03.2022

Published online: 20.04.2022

Омская область вошла в двадцатку крупнейших регионов страны по посевным площадям пшеницы. Общий объем площадей, занятых пшеницей мягкой яровой в Омской области, в 2019 г. составил 1,26 млн га, в 2020 г. – 1,33, в 2021 г. – 1,29 млн га, из них более 90 % занимали сортовые посевы. Доля сортов селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» достигла 60-70 % от общих посевов пшеницы мягкой яровой в области¹.

В 2021 г. возделывали 32 среднеспелых сорта пшеницы мягкой яровой (434,6 тыс. га) и 15 среднеранних сортов (331,2 тыс. га), созданных в научных учреждениях Западной Сибири (ФГБНУ «Омский АНЦ», ИЦиГ СО РАН, ФГБНУ ФАНЦА, ОмГАУ и др.).

Всего 6 среднеранних сортов селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» занимали площадь 254,0 тыс. га и 4 среднеспелых – 193,0 тыс. га. Максимальные площади – под среднеранними сортами Омская 36 (146,2 тыс. га), Памяти Азиева (57,4 тыс. га) и среднеспелыми Омская 38 (77 тыс. га), Сигма (82 тыс. га)².

Сочетание сортов различных биотипов, адаптированных к стрессовым условиям, позволяет стабилизировать производство зерна пшеницы мягкой яровой в зоне рискованного земледелия. На долю среднеспелых сортов по Омской области в общем балансе посевных площадей приходится до 40 %. Сдерживающим фактором возделывания сортов среднеспелого типа является как их недостаточная адаптивность при выращивании в условиях современного производства, так и ограни-

ченный сортовой ресурс [1, 2, 3]. Ранее нами опубликованы сообщения о создании и внедрении в производство новых перспективных сортов среднераннего типа Омская 36 и Тарская 12, отвечающих современным требованиям возделывания [4, 5].

Создание сортов среднеспелого типа с высоким потенциалом урожайности, качества зерна и широкими адаптивными возможностями, устойчивых к полеганию и прорастанию зерна на корню, с повышенной засухоустойчивостью и высокой пластичностью для лесостепных и степных зон возделывания пшеницы мягкой яровой в Западной Сибири имеет особую актуальность и значимость [6, 7, 8, 9, 10].

С целью получения оптимального урожая пшеницы яровой следует уделять особое внимание территориальному размещению сортов разных групп спелости. Для южной лесостепной и степной зон Омской области нужны среднеспелые сорта, северной лесостепи и северной зоны необходимы среднеранние сорта, способные противостоять весенне-летней засухе, устойчивые к листовостебельным заболеваниям, полеганию, с зерном высокого качества, поэтому питомники конкурсного и экологического сортоиспытания закладываются в степной зоне (ФГУП «Новоуральское», отдел степного земледелия), а также в различных регионах РФ: Средневолжском (ФГБНУ «ТатНИИСХ»), Уральском (ООО Агрохолдинг «Кургансемена») и Западно-Сибирском (ФГБНУ «Омский АНЦ»).

¹АБ-Центр – Экспертно-аналитический центр агробизнеса. [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/> (дата обращения: 26.02.2021).

²Особенности проведения весенне-полевых работ в хозяйствах Омской области в 2021 г.: рекомендации. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2021. 60 с.

Среди заболеваний пшеницы ржавчинные болезни составляют основу патогенного комплекса. До 2005 г. наиболее вредоносной являлась бурая ржавчина. В последующий период, начиная с 2015 г., наряду с ней в посевах отмечается повышение вредоносности стеблевой ржавчины. Высокий эволюционный потенциал ржавчинных патогенов требует особого контроля за популяциями данных возбудителей и совершенствование селекционно-генетических исследований [11, 12, 13, 14].

Цель исследований – оценить результаты различных видов испытаний нового сорта пшеницы мягкой яровой Омская 44 в условиях Омской области.

Материал и методы. Полевые исследования выполняли в селекционном севообороте лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы на базе ФГБНУ «Омский АНЦ» в зоне южной лесостепи Омской области. Изучение материала конкурсного и производственного сортоиспытания проводили согласно методикам ВИР³ и государственного испытания⁴.

Погодные условия в лесостепной зоне Омской области в 2015-2021 гг. по температурному режиму и влагообеспеченности были контрастными в период испытания сортов в питомниках конкурсного сортоиспытания. Вегетационные периоды 2017, 2020 и 2021 гг. характеризовались низкой влагообеспеченностью (значения ГТК составили соответственно 0,70, 0,61 и 0,55), оптимальные условия увлажнения отмечены в 2015, 2016 и 2019 гг. (ГТК = 1,15, 1,00 и 1,06), 2018 г. был влажным (ГТК = 1,4), кроме того, ливневые осадки и сильный ветер привели к полеганию посевов. Наличие росы и время ее экспозиции более 8 часов в эти годы способствовало массовому развитию патогенов мучнистой росы, бурой и стеблевой ржавчины [15]. Такие погодные условия позволили проводить отборы линий,

сочетающих повышенную продуктивность с устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды.

Почва опытного участка лугово-черноземная среднетяжелая с тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, содержание гумуса около 6 % (по Тюрину), рН_{сол} 6,5. Содержание нитратного азота – 12,5 мг/кг (в слое 0-40 см), подвижного фосфора – 135 мг/кг и обменного калия (по Чирикову) – 190 мг/кг в слое 0-20 см.

Питомники конкурсного сортоиспытания по пшенице мягкой яровой закладывали в два срока по чистому пару (1-й срок с 12 по 15 мая, 2-й срок с 22 по 25 мая) и по двум фонам (посев после зерновых с 22 по 25 мая) сеялкой ССФК-7 М. Норма высева при посеве по чистому пару в первом и втором сроках составила 5,5 млн, после зерновых – 4,5 млн всхожих семян на гектар, повторность опыта четырёхкратная, площадь делянок 10-15 м². При уборке урожая использовали малогабаритный комбайн ХЕГЕ-125.

Производственное испытание в отделе семеноводства закладывали по двум фонам: интенсивному (чистый пар, посев 15 мая) и экстенсивному (посев после зерновых, 15 мая). Площадь делянки 25 м², повторность четырёхкратная.

Учеты пораженности сортов яровой пшеницы⁵ в полевых условиях проводили 5-7 раз в динамике (через 6-8 суток) с начала проявления заболеваний до восковой спелости. Для сортообразцов, задерживающих развитие патогенов, рассчитывали площадь под кривой развития заболеваний (ПКРБ) и индекс устойчивости (ИУ): высокий от 0,10 до 0,35; средний – от 0,36 до 0,65; низкий – от 0,66 до 0,80 и восприимчивость >0,80. Оценку экологической пластичности нового сорта определяли по методике В. А. Зыкина и др.⁶

³Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания. ВИР. Л.: Изд-во ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, 1999. 82 с.

⁴Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/gossreestr/> (дата обращения: 25.02.2021).

⁵Коваленко Е. Д., Коломиец Т. М., Киселева М. И., Жемчужина А. И., Смирнова Л. А., Щербик А. А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы, устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации ВНИИФ. М., 2012. 93 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19517981>

⁶Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Кираев Р. С., Чанышев И. О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений: методика и оценка. Уфа, 2011. 96 с.

Качество зерна оценивали в лаборатории качества зерна ФГБНУ «Омский АНЦ» по показателям: натура (ГОСТ 10840-2017); стекловидность (ГОСТ 10987-76); содержание белка⁷ и клейковины в зерне (ГОСТ Р 54478-2011). Физические свойства теста: энергия деформации (альвеограф), разжижение, валориметрическая оценка (фаринограф) и хлебопекарное качество (объем, внешний вид хлеба и структура мякиша) изучали, используя методики и классификационные нормы Государственной комиссии по испытанию сельскохозяйственных растений⁸.

Статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова⁹ с применением пакета статистических программ (MS Excel).

Результаты и их обсуждение. Сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 (Лютесценс 79/04-11), созданный путём индивидуального отбора из гибридной популяции Лютесценс 248/97-11 х Омская 38 (к-65566, Россия), передан в 2019 г. на государственное сортоиспытание в 9, 10 и 11 регионы Российской Федерации, основные зоны возделывания – лесостепь и степь. Оригинатор сорта – ФГБНУ «Омский АНЦ». В 2021 г. сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ (Патент № 11524) с допуском к производственному использованию в 10 и 11 регионах, а также по лесостепной зоне Омской области.

Материнская форма представлена сортообразцом местной селекции Лютесценс 248/97-11 (создан в 1997 г.) с повышенной урожайностью, высокими технологическими свойствами зерна и устойчивостью к пыльной головне.

Среднеспелый сорт Омская 38 – среднерослый, устойчив к полеганию, высокоустойчивый в фазе «колошение» к мучнистой росе, а также бурой и стеблевой ржавчинам, содержит пшенично-ржаную *IRS.1BL* с кластером генов (*Lr26/Sr31/Pm8/Yr9*) и пшенично-пырейную *7DL-7Ai (Lr19/Sr25)* транслокации [16, 17].

Данный сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2010 г. по 10 региону и уже в 2016 г. занял более 160 тыс. га только в Омской области, благодаря высокой устойчивости к листовым патогенам и способности формировать высококачественное зерно¹⁰.

В родословной нового сорта Омская 44 присутствуют сорта озимой пшеницы Кавказ, Бургас, Тайфун, Краснодарская 39 и яровой – Иртышанка 10, Скала, Венец¹¹.

По морфологии новый сорт Омская 44 имеет отличительные особенности. Разновидность *Lutescens*. Куст прямостоячий, опушение слабое. Стебель прочный, полый, высотой около 115 см. Колос пирамидальный, белый, безостый, с остевидными отростками в верхней части, длиной 9-10 см. Зерно удлинённое, среднее, красное, бороздка средняя. Сорт среднеспелый, вегетационный период в среднем 88 суток, созревает на уровне сорта-стандарта Дуэт.

В конкурсном сортоиспытании ФГБНУ «Омский АНЦ» в южной лесостепи зоне за 4 года испытаний (2015-2018 гг.) у сорта Омская 44 урожайность составила 4,47 т/га, превысив стандарт Дуэт на 1,51 т/га (табл. 1), в подтаежной зоне Омской области (г. Тара, отдел северного земледелия ФГБНУ «Омский АНЦ») сорт Омская 44 за пять лет испытаний (2013-2017 гг.) превзошел среднеранний сорт Памяти Азиева на 1,07 т/га при урожайности 4,14 т/га. Максимальная урожайность 5,69 т/га получена при посеве по чистому пару 13 мая 2017 г. в конкурсном сортоиспытании на базе ФГБНУ «Омский АНЦ».

Относительно высокий потенциал урожайности зерна пшеницы мягкой яровой Омская 44 в сравнении со стандартным сортом Дуэт обеспечивается числом продуктивных стеблей и зерен с колоса, а также массой зерна с колоса.

⁷Базавлук И. М. Ускоренный метод полумикро Къельдаля для определения азота в растительном материале при генетических и селекционных исследованиях. Цитология и генетика. 1968;2(3):249.

⁸Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: технологическая оценка зерновых, крупяных и бобовых. М., 1988. 121 с.

⁹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 415 с.

¹⁰Новый сорт Омская 38. Высокоурожайный. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.furazh.ru/declar/?id=3625063> (дата обращения: 01.02.2022).

¹¹Дача-Дача.ру – Сорта растения. Пшеница мягкая яровая. [Электронный ресурс]. URL: <https://dacha-dacha.ru/sorta/pshenitsa-myagkaya-yarovaya/> (дата обращения: 01.02.2022).

Таблица 1 – Результаты изучения пшеницы мягкой яровой сорта Омская 44 в конкурсном сортоиспытании (Омская обл., зона южной лесостепи, 2015-2018 гг.) /

Table 1 – The results of the study of soft spring wheat variety Omskaya 44 in competitive variety testing (Omsk region, southern forest-steppe zone, 2015-2018)

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Дуэт, см. / Duet, st.</i>	<i>Омская 44 / Omskaya 44</i>	<i>Отклонение от стандарта / Deviation from the standard</i>
Вегетационный период, сут / Growing season, days	88	88	0
Поражение, % / Damage, %:			
бурой ржавчиной / brown rust	15	15	0
стеблевой ржавчиной /brown stem	90	45	-45
мучнистой росой / powdery mildew	60	50	-10
Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, points	7	9	+2
Высота растений, см / Height of plants, cm	111	116	+5
Число продуктивных стеблей на 1 м ² , шт./ Number of productive stems per 1 m ² , pcs.	348	360	+12
Длина колоса, см / Length of head, cm	8,6	9,0	+0,4
Количество зерен в колосе, шт./ Number of grains per head, pcs	33,9	40,4	+6,5
Масса зерна с колоса, г / Mass of grain per head, g	1,10	1,50	+0,40
Урожайность, т/га / Yield, t/ha			
1 срок сева, пар (НСР ₀₅ = 0,33 т/га) / 1st term (LSD ₀₅ = 0.33 t/ha)	2,96	4,47	+1,51
2 срок сева, пар (НСР ₀₅ = 0,25 т/га) / 2nd term (LSD ₀₅ = 0.25 t/ha)	2,16	4,11	+1,95
Урожайность, после зерновых, т/га (НСР ₀₅ = 0,28 т/га) / Yield, after cereals, t/ha (LSD ₀₅ = 0.28 t/ha)	2,65	3,57	+0,92

Результаты четырехлетнего производственного испытания (отдел семеноводства ФГБНУ «Омский АНЦ») показали, что при посеве по пару в среднем за 2018-2021 гг. новый сорт Омская 44 по урожайности значительно превзошел стандарт Дуэт и лучший сорт по лесостепной зоне Омская 38 (табл. 2). Урожайность нового сорта, посеянного после зерновых, была также достоверно выше сортов сравнения. Продолжительность вегетационного периода по сорту Омская 44, независимо от предшественника, в среднем за четыре года составила 89-90 суток.

Экологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы в большом диапазоне условий выращивания позволяет объективно изучить и охарактеризовать тот или иной генотип, выявить его пластичность и стабильность. Особую ценность представляют те сорта, урожайность которых характеризуется величиной от средней до высокой, коэффициент регрессии (b_i) близок или превосходит 1, стабильность (σ_d^2) близка к 0, что свидетель-

ствует о соответствии урожайности сортов изменению условий среды. Параметры экологической пластичности сортов пшеницы мягкой яровой рассчитаны за период 2017-2020 гг.: новый сорт Омская 44 – коэффициент линейной регрессии (b_i) составил 1,13, показатель стабильности (σ_d^2) – 0,25; сорт-стандарт Дуэт – $b_i = 0,92$, $\sigma_d^2 = 0,47$. Новый сорт с коэффициентом регрессии ($b_i > 1$) характеризуется высокой отзывчивостью на улучшение условий и высокой буферностью при попадании в неблагоприятные условия. Такая реакция свойственная сортам интенсивного типа.

В последние годы одним из основных факторов снижения урожайности является массовое развитие бурой и стеблевой ржавчин. Оценка устойчивости к листовостебельным патогенам в 2015-2020 гг. показала, что сорт Омская 44 характеризуется средним уровнем устойчивости к мучнистой росе и высоким – к бурой и стеблевой ржавчинам (ИУ равен 0,10 и 0,23 соответственно).

Таблица 2 – Урожайность зерна нового сорта пшеницы мягкой яровой Омская 44 в зависимости от предшественника в производственном испытании, т/га (Омская обл., зона южной лесостепи, 2018-2021 гг.) /
Table 2 – Grain yield of a new variety of soft spring wheat Omskaya 44 depending on the predecessor in the production test, t/ha (Omsk region, southern forest-steppe zone, 2018-2021)

<i>Copt / Variety</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2019 г.</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>	<i>Среднее / Average</i>	<i>Отклонение от стандарта / Deviation from the standard</i>
Пар / Fallow						
Дуэт, ст. / Duet, st.	3,68	3,13	2,00	3,28	3,02	-
Омская 38 / Omskaya 38	3,32	4,70	3,94	3,15	3,78	+ 0,76
Омская 44 / Omskaya 44	4,83	5,43	4,34	4,01	4,65	+ 1,63
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	0,29	-
Зерновые / Cereals						
Дуэт, ст. / Duet, st.	2,54	2,93	2,92	2,29	2,67	-
Омская 38 / Omskaya 38	3,29	3,00	4,03	2,04	3,09	+ 0,42
Омская 44 / Omskaya 44	4,38	2,87	4,10	2,37	3,43	+0,76
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	0,27	-

Анализ данных ГСИ в среднем по сортоучасткам Омской области (табл. 3) показал, что за 2019-2021 гг. при испытании по чистому пару превышение сорта Омская 44 над стандартом Дуэт составило 0,13 т/га при средней урожайности нового сорта – 3,03 т/га. При этом на двух сортоучастках (Горьковский – северная

лесостепь и Павлоградский – степь) превышение сорта Омская 44 по урожайности относительно стандарта было достоверным. На Шебаркульском ГСУ (южная лесостепь) урожайность получена на уровне стандарта. Созревание у нового сорта наступало в среднем на уровне сорта-стандарта.

Таблица 3 – Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы на государственных сортоучастках Омской области, т/га (2019-2021 гг.) /
Table 3 – Yield of spring soft wheat varieties on the state variety plots of the Omsk region, t/ha (2019-2021)

<i>Copt / Variety</i>	<i>Павлоградский / Pavlogradsky</i>	<i>Горьковский / Gorkovskiy</i>	<i>Шебаркульский / Sherbakulskiy</i>
	<i>2019-2020 гг.</i>	<i>2020-2021 гг.</i>	<i>2019-2021 гг.</i>
Дуэт, ст. / Duet, st.	1,92	3,12	3,67
Омская 38 / Omskaya 38	2,02	-	3,66
Омская 44 / Omskaya 44	2,08	3,30	3,71
К стандарту / To standard	+0,16*	+0,18*	+0,04

* достоверно при $p \leq 0,05$ / significant at $p \leq 0.05$

По данным ГСИ, при искусственном заражении на фитоучастке выявлено преимущество сорта Омская 44 по резистентности к ржавчинным заболеваниям и мучнистой росе над стандартом данной группы спелости Дуэт¹².

В течение трех лет (2016-2018 гг.) сорт Омская 44 проходил экологическое испытание

на степном опорном пункте Омской области (ФГУП «Новоуральское», Таврический район), при среднем уровне урожайности 3,61 т/га преимущество над сортом-стандартом Дуэт составило 0,68 т/га. По продолжительности вегетационного периода и высоте растений новый сорт был на уровне стандарта.

¹²Рекомендации по возделыванию сортов сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания в Омской области за 2021 год. Омск, 73 с.

Товарное зерно мягкой пшеницы в соответствии с требованиями ГОСТ 9353-2016 к его качеству и безопасности подразделяют на классы. Пшеница 1 и 2 класса считается «сильной пшеницей» и является улучшителем «слабой» при изготовлении муки [18]. Поэтому при включении в Госреестр РФ предпочтение отдается сортам, стабильно формирующим высокие показатели технологического качества зерна (натура, содержание белка и клейковины, сила муки, объем хлеба) независимо

от погодных условий. Коммерческий успех того или иного сорта во многом определяется сочетанием высокого качества зерна с повышенной урожайностью и устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам.

Показатели качества зерна сорта Омская 44 в сравнении со стандартом Дуэт приводятся в таблице 4, из данных которой видно, что Омская 44 выгодно отличалась от стандарта высокими хлебопекарными характеристиками.

Таблица 4 – Технологические показатели качества зерна сорта яровой мягкой пшеницы Омская 44/
Table 4 – Technological indicators of grain quality of spring soft wheat variety Omskaya 44

<i>Copm / Variety</i>	<i>Натура, г/л / Natura, g/l</i>	<i>Стекловидность, % / Glassiness, %</i>	<i>Белок, % / Protein, %</i>	<i>Клейковина, % / Gluten, %</i>	<i>Энергия деформации, 10⁻⁴ J / Strain energy, 10⁻⁴ J</i>	<i>Разжижение теста, е.ф. / Dilution of dough, e.f.</i>	<i>Валориметрическая оценка, е.в. / Valorimeter, e.v.</i>	<i>Объем хлеба, см³ / Volume of bread, cm³</i>	<i>Общая хлебопекарная оценка, балл / General bakery, points</i>
Данные КСИ, пар, 1 срок сева, южная лесостепь, 2016-2019 гг./ CVT data, fallow, first term of sowing, southern forest-steppe, 2016-2019									
Дуэт, ст./ Duet, st.	697	50	13,88	28,2	376	45	66	950	4,2
Омская 44 / Omskaya 44	729	52	16,11	32,2	626	27	83	1143	4,4
Данные ГСИ, южная лесостепь и степь, 2019 г./ GSI data, southern forest-steppe and steppe, 2019									
Дуэт, ст./ Duet, st.	747	50	-	25,2	330	70	62	1200	4,5
Омская 44 / Omskaya 44	745	50	-	24,6	394	60	80	1200	4,3
Данные производственного испытания, южная лесостепь, 2021 г./ Data of production test, southern forest-steppe, 2021									
Пар, интенсивный фон / Fallow, intense background									
Дуэт, ст. / Duet, st.	726	52	16,88	32,1	352	90	45	840	4,2
Омская 44 / Omskaya 44	730	51	17,50	33,3	530	40	70	1180	4,6
Пар, экстенсивный фон / Fallow, extensive background									
Дуэт, ст./ Duet, st.	718	50	17,71	33,6	332	70	57	910	4,3
Омская 44 / Omskaya 44	718	52	18,16	34,5	385	30	80	1120	4,6

Превышение по содержанию белка и клейковины в зерне нового сорта составило в среднем соответственно 2,23 и 4,00 % относительно стандарта. Физические свойства теста соответствовали уровню хорошего улучшителя. Новый сорт по энергии деформации теста («силе муки») превосходил Дуэт на $250 \cdot 10^{-4} \text{J}$, по валориметрической оценке на 17 е. в., формируя менее разжижающееся тесто на 18 е. ф. Качество хлеба из муки сорта Омская 44 оказалось более предпочтительным, чем сорта Дуэт. По объему хлеба преимущество составило 193 см³.

По данным Западно-Сибирской лаборатории (г. Барнаул) за 2019 г., такие хлебопекарные показатели, как сила муки, разжижение теста и валориметрическая оценка оказались значимее у нового сорта при равном объеме хлеба.

Испытание сорта Омская 44 в сравнении со стандартом при посеве по пару с использованием интенсивной технологии выявило максимальное преимущество нового сорта по хлебопекарным показателям: содержанию белка и клейковины в зерне на 0,62 и 1,2 % соответственно, силе муки на 178 е. а., валориметрической оценке на 25 е. в. и объему хлеба на 340 см³. Превышение по основным

хлебопекарным показателям сохранилось и при возделывании культуры по экстенсивной технологии. Качество зерна сорта Омская 44 по паровому предшественнику соответствовало уровню «сильной пшеницы».

Заключение. В результате целенаправленной селекционной работы создан высокоадаптивный сорт яровой мягкой пшеницы Омская 44. Результаты различных видов испытаний в условиях Омской области показали, что сорт обладает высокой потенциальной урожайностью, превосходя сорт-стандарт Дуэт на

1,51 т/га за счет оптимального сочетания слагаемых элементов продуктивности (массе зерна с колоса, числу зерен в колосе, количеству продуктивных стеблей) и высокой устойчивости к листовым патогенам. Яровая мягкая пшеница Омская 44 включена в список сортов, формирующих высококачественное зерно.

В 2021 году сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (патент № 11524) по 10 региону РФ, а также по лесостепной зоне Омской области.

Список литературы

1. Новохатин В. В., Драгавцев В. А., Леонова Т. А., Шеломенцева Т. В. Создание сорта мягкой яровой пшеницы Гренада с помощью инновационных технологий селекции на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков. Сельскохозяйственная биология. 2019;54(5):905-919. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.905rus>
2. Белан И. А., Россеева Л. П., Блохина Н. П., Григорьев Ю. П., Мухина Я. В., Трубачева Н. В., Першина Л. А. Ресурсный потенциал сортов мягкой яровой пшеницы для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):449-465. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465>
3. Казак А. А., Логинов Ю. П. Сравнительное изучение среднеспелых и среднепоздних сортов сильной пшеницы сибирской селекции в лесостепной зоне Тюменской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;67(6):33-41. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.33-41>
4. Белан И. А., Россеева Л. П., Россеев В. М., Немченко В. В. Адаптивный, засухоустойчивый сорт яровой мягкой пшеницы Омская 36. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015;7(129):5-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23637102>
5. Григорьев Ю. П., Белан И. А., Россеева Л. П., Пахотина И. В. Скороспелый сорт яровой мягкой пшеницы Тарская 12 для северных районов Омской области. Аграрная Россия. 2020;(3):3-7. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-3-3-7>
6. Жученко А. А. Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК (теория и практика). Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 274 с.
7. Капко Т. Н., Лихенко И. Е., Советов В. В., Агеева Е. В. Продуктивность и качество мягкой яровой пшеницы в Западной Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2021;35(10):25-31. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_10_25
8. Пинчук Л. Г., Кондратенко Е. П., Коршиков Ю. А., Долгодворов В. Е. Продуктивность яровой пшеницы в условиях юго-востока Западной Сибири. Зерновое хозяйство. 2006;(5):13-17.
9. Новохатин В. В., Драгавцев В. А. Научное обоснование эколого-генетической селекции мягкой яровой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(12):39-46. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11206>
10. Андреева З. В. О нерезализованном потенциале урожайности зерна мягкой яровой пшеницы на госсортоучастках и в производственных условиях Томской области. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2007;(8):19-24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9517555>
11. Койшыбаев М., Жандарбекова А. Б., Моргунов А. И., Зеленский Ю. И., Чудинов В. А. Скрининг генофонда яровой пшеницы на устойчивость к особо опасным болезням на севере Казахстана. В сб.: Иммуногенетическая защита сельскохозяйственных культур от болезней. Теория и практика. Большие Вяземы, 2012. С. 221-228.
12. Гуляева Е. И., Баранова О. А., Дмитриев А. П. Вирулентность и структура популяций гриба *Puccinia triticea* Erik. Вестник защиты растений. 2015;3(85):5-10.
13. Койшыбаев М. Реакция изогенных линий пшеницы Thatcher на северо-казахстанскую популяцию *Puccinia triticea* и устойчивость сортов к патогену. Микология и фитопатология. 2019;53(3):162-169. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026364819030073>
14. Санин С. С., Назарова Л. Н., Стрижекозин Ю. А., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М., Копорова Т. И. Фитосанитарная ситуация на посевах пшеницы в Российской Федерации (1991-2008 гг.). (Аналитический обзор). Защита и карантин растений. 2010;(2):69-80.
15. Белан И. А., Россеева Л. П., Григорьев Ю. П., Блохина Н. П., Золкин Д. А., Мухина Я. В. Создание сортов яровой мягкой пшеницы устойчивых к грибным заболеваниям для условий Западной Сибири и Северного Казахстана. Аграрная Россия. 2020;(6):3-8. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-6-3-8>

16. Белан И. А., Россеева Л. П., Россеев В. М., Бадаева Е. Д., Зеленский Ю. И., Блохина Н. П., Шепелев С. С., Першина Л. А. Изучение хозяйственно-ценных и адаптивных признаков у линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих транслокации *IRS.1BL* и *7DL – 7A1*. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012;16(1):178-186. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17854560>

17. Россеева Л. П., Белан И. А., Мешкова Л. В., Блохина Н. П., Ложникова Л. Ф., Трубачеева Н. В., Першина Л. А. Селекция на устойчивость к стеблевой ржавчине яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;(7(153)):5-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29368539>

18. Мелешкина Е. П., Коломиец С. Н., Жильцова Н. С., Бундина О. И. Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021;83(1):155-162. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162>

References

1. Novokhatin V. V., Dragavtsev V. A., Leonova T. A., Shelomentseva T. V. *Sozdanie sorta myagkoy yarovoy pshenitsy Grenada s pomoshch'yu innovatsionnykh tekhnologiy seleksii na osnove teorii ekologo-geneticheskoy organizatsii kolichestvennykh priznakov*. [Creation of a spring soft wheat variety grenada with the use of innovative breeding technologies based on the original theory of eco-genetic arrangement of quantitative traits]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2019;54(5):905-919. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.905rus>

2. Belan I. A., Rosseeva L. P., Blokhina N. P., Grigoriev Yu. P., Mukhina Ya. V., Trubacheeva N. V., Pershina L. A. *Resursnyy potentsial sortov myagkoy yarovoy pshenitsy dlya usloviy Zapadnoy Sibiri i Omskoy oblasti (analiticheskiy obzor)*. [Resource potential of soft spring wheat varieties for the conditions of Western Siberia and Omsk region (analytical review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(4):449-465. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465>

3. Kazak A. A., Loginov Yu. P. *Sravnitel'noe izuchenie srednespelykh i srednepozdnykh sortov sil'noy pshe-nitsy sibirskoy seleksii v lesostepnoy zone Tyumenskoy oblasti*. [Comparative study of mid-season and middle-late varieties of strong wheat of the Siberian selection in a forest-steppe zone of the Tyumen region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;67(6):33-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.33-41>

4. Belan I. A., Rosseeva L. P., Rosseev V. M., Nemchenko V. V. *Adaptivnyy, zasukhoustoychivyy sort yarovoy myagkoy pshenitsy Omskaya 36*. [Adaptive and drought-resistant spring wheat variety Omskaya 36]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2015;(7(129)):5-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23637102>

5. Grigoriev Yu. P., Belan I. A., Rosseeva L. P., Pakhotina I. V. *Skorospelyy sort yarovoy myagkoy pshenitsy Tarskaya 12 dlya severnykh rayonov Omskoy oblasti*. [Early spring soft wheat variety Tarskaya 12 for the northern regions of the Omsk oblast']. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2020;(3):3-7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-3-3-7>

6. Zhuchenko A. A. *Obespechenie prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii v KhKhI veke na osnove adaptivnoy strategii ustoychivogo razvitiya APK (teoriya i praktika)*. [Ensuring Russia's food security in the 21st century based on an adaptive strategy for the sustainable development of the agro-industrial complex (theory and practice)]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2009. 274 p.

7. Kapko T. N., Lihenko I. E., Sovetov V. V., Ageeva E. V. *Produktivnost' i kachestvo myagkoy yarovoy pshe-nitsy v Zapadnoy Sibiri*. [Productivity and quality of spring common wheat in Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2021;35(10):25-31. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_10_25

8. Pinchuk L. G., Kondratenko E. P., Korshikov Yu. A., Dolgodvorov V. E. *Produktivnost' yarovoy pshenitsy v usloviyakh yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri*. [Productivity of spring wheat in the south-east of Western Siberia]. *Zernovoe khozyaystvo*. 2006;(5):13-17. (In Russ.).

9. Novokhatin V. V., Dragavtsev V. A. *Nauchnoe obosnovanie ekologo-geneticheskoy seleksii myagkoy yarovoy pshenitsy*. [Scientific substantiation of the ecological and genetic breeding of common spring wheat]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(12):39-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11206>

10. Andreeva Z. V. *O nerealizovannom potentsiale urozhaynosti zerna myagkoy yarovoy pshenitsy na gossor-touchastkakh i v proizvodstvennykh usloviyakh Tomskoy oblasti*. [On unrealized potential of spring soft wheat grain yielding ability under conditions of the Tomsk region]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2007;(8):19-24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9517555>

11. Koyshybaev M., Zhandarbekova A. B., Morgunov A. I., Zelenskiy Yu. I., Chudinov V. A. *Skrining genofonda yarovoy pshenitsy na ustoychivost' k osobo opasnym boleznyam na severe Kazakhstana*. [Screening of the spring wheat gene pool for resistance to especially dangerous diseases in the north of Kazakhstan]. *V sb.: Immunogeneticheskaya zashchita sel'skokhozyaystvennykh kul'tur ot bolezney. Teoriya i praktika*. [Immunogenetic protection of agricultural crops from diseases. Theory and practice]. Bolshie Vyazemy, 2012. pp. 221-228.

12. Gulyaeva E. I., Baranova O. A., Dmitriev A. P. *Virulentnost' i struktura populyatsiy griba Puccinia tritici-na Eriks*. [Structure of Russian populations of puccinia tritici-na]. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2015;3(85):5-10. (In Russ.).
13. Koyshybaev M. *Reaktsiya izogennykh liniy pshenitsy Thatcher na severo-kazakhstanskuyu populyatsiyu Puccinia tritici-na i ustoychivost' sortov k patogenu*. [Reaction of isogenes Thatcher wheat lines on the north-kazakhstan population of *Puccinia tritici-na* and resistance of wheat cultivars]. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2019;53(3):162-169. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026364819030073>
14. Sanin S. S., Nazarova L. N., Strizhekozina Yu. A., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M., Kopo-rova T. I. *Fitosanitarnaya situatsiya na posevakh pshenitsy v Rossiyskoy Federatsii (1991-2008 gg.)*. (*Analiticheskiy obzor*). [Phytosanitary situation of wheat crops in the Russian Federation (1991-2008). (Analytical review)]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(2):69-80. (In Russ.).
15. Belan I. A., Rosseeva L. P., Grigoriev Yu. P., Blokhina N. P., Zolkin D. A., Mukhina Ya. V. *Sozdanie sortov ya-rovoy myagkoy pshenitsy ustoychivyykh k gribnym zabolevaniyam dlya usloviy Zapadnoy Sibiri i Severnogo Kazakhstan*. [Creation of *Triticum aestivum* L. varieties resistant to fungal diseases for western Siberia and Northern Kazakhstan]. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2020;(6):3-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-6-3-8>
16. Belan I. A., Rosseeva L. P., Rosseev V. M., Badaeva E. D., Zelenskiy Yu. I., Blokhina N. P., Shepelev S. S., Pershina L. A. *Izuchenie khozyaystvenno-tsennykh i adaptivnykh priznakov u liniy sorta yarovoy myagkoy pshenitsy Omskaya 37, nesushchikh translokatsii IRS.1BL i 7DL-7Ai*. [Examination of adaptive and agronomic characters in lines of common wheat Omskaya 37 bearing translocations *IRS.1BL* and *7DL-7AI*]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(1):178-186. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17854560>
17. Rosseeva L. P., Belan I. A., Meshkova L. V., Blokhina N. P., Lozhnikova L. F., Trubacheeva N. V., Pershina L. A. *Seleksiya na ustoychivost' k steblevoy rzhavchine yarovoy myagkoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri*. [Breeding spring soft wheat for resistance to stem rust in west Siberia]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;(7(153)):5-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29368539>
18. Meleshkina E. P., Kolomiets S. N., Zhil'tsova N. S., Bundina O. I. *Sovremennaya otsenka khlebopekarnykh svoystv rossiyskoy pshenitsy*. [Modern assessment of bakery properties of Russian wheat]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021;83(1):155-162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162>

Сведения об авторах

Белан Игорь Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции яровой мягкой пшеницы, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8911-4199>

Росеева Людмила Петровна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5885-4020>

✉ **Григорьев Юрий Петрович**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом северного земледелия, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4061-3659>, e-mail: grigorev@anc55.ru

Пахотина Ирина Владимировна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией качества зерна, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9709-1951>

Information about the authors

Igor A. Belan, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Spring Soft Wheat Breeding, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8911-4199>

Lyudmila P. Rosseeva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Spring Soft Wheat Breeding, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5885-4020>

✉ **Yuri P. Grigoriev**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Department of Northern Agriculture, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5885-4020>, e-mail: grigorev@anc55.ru

Irina V. Pakhotina, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Grain Quality, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9709-1951>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Анализ структуры сортов масличного льна на основе полиморфных микросателлитных локусов

© 2022. С. З. Гучетль[✉], Т. А. Челюстникова, А. А. Аверина

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», г. Краснодар, Российская Федерация

Повышенная рентабельность производства масличного льна является стимулом для создания новых сортов с высокими показателями урожайности и расширения зон возделывания культуры. Ограниченность генетического разнообразия вида *Linum usitatissimum* L., вследствие самоопыления, и исходных форм, используемых при создании новых сортов льна масличного, сдерживают эффективность селекционной работы. Цель исследования – определение генетической структуры сортов масличного льна с использованием системы из 10 микросателлитных локусов. Материалом исследования служили четыре сорта селекции Всероссийского НИИ масличных культур. ДНК выделяли СТАВ-методом. Электрофоретическое разделение ампликонов проводили в 8%-м полиакриламидном геле с последующим окрашиванием бромистым этидием. Основные показатели генетической изменчивости, а также анализ молекулярной вариации AMOVA, показатели F-статистики Райта, анализ главных координат (PCoA) определяли с помощью программы GenAlEx 6.5. Суммарно выявлено 53 аллеля. Для каждого сорта рассчитаны основные показатели генетического разнообразия. По статистическим характеристикам (N_a , N_e , I , F) сорт Нилин является источником наибольшего генетического разнообразия. Для всех сортов соотношение ожидаемой H_e и наблюдаемой H_o гетерозиготности соответствует инбредным популяциям с минимальной долей случайного скрещивания. По аллельному состоянию 10 SSR-локусов сорт Снегурок относится к линейному типу, что соответствует его происхождению. Составлен его генетический паспорт по данным локусам. По результатам анализа молекулярной вариации (AMOVA) 71 % общей дисперсии обусловлен генетическими различиями между сортами, а 29 % – внутрисортными.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., ДНК, SSR, полимеразная цепная реакция, генетическое разнообразие

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки 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).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гучетль С. З., Челюстникова Т. А., Аверина А. А. Анализ структуры сортов масличного льна на основе полиморфных микросателлитных локусов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):184-193. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.184-193>

Поступила: 10.01.2022

Принята к публикации: 25.02.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Analysis of the structure of linseed flax varieties based on polymorphic microsatellite loci

© 2022. Saida Z. Guchetl[✉], Tatyana A. Chelyustnikova, Anastasia A. Averina

V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russian Federation

High profitability of linseed flax production is an incentive for developing new varieties with high yield performance and for expansion of cultivation areas. The restricted genetic diversity of *Linum usitatissimum* L. due to self-pollination and of initial forms used by developing the new linseed flax varieties limits the efficiency of the breeding work. The purpose of the research was to determine the genetic structure of linseed flax varieties using a system of 10 microsatellite loci. Four varieties bred by the V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops were used as the research material. DNA was isolated by the CTAB method. Electrophoretic separation of amplicons was performed in 8 % polyacrylamide gel followed by ethidium bromide staining. The determination of the main indicators of genetic variability, analyzed molecular variance (AMOVA), the Wright F-statistics indicators, and the principal coordinates analysis (PCoA) was carried out using the GenAlEx 6.5 program. A total of 53 alleles have been identified. The main indicators of genetic diversity were calculated for each variety. According to statistical characteristics (N_a , N_e , I , F), the variety Nilin is the source of the greatest genetic diversity. For all varieties, the ratio of expected heterozygosity (H_e) and observed heterozygosity (H_o) corresponds to inbred populations with a minimum proportion of random crossing. By the allelic state of the 10 SSR loci, the variety Snegurok belongs to the linear type, which corresponds to its origin. The genetic passport of this variety has been compiled according to these loci. According to the results of the analysis of molecular variance (AMOVA), 71 % of the total dispersion is due to genetic differences between the varieties, and 29 % is due to intra-varietal differences.

Keywords: *Linum usitatissimum* L., DNA, SSR, polymerase chain reaction, genetic diversity

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 V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops (theme No. FGRU-2019-0002, Unified state information system for recording the results of research and development work No. АААА-А20-120121890075-8).

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 citations: Guchetl S. Z., Chelyustnikova T. A., Averina A. A. Analysis of the structure of linseed flax varieties based on polymorphic microsatellite loci. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):184-193. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.184-193>

Received: 10.01.2022

Accepted for publication: 25.02.2022

Published online: 20.04.2022

Масличный лен – ценная техническая культура многопрофильного использования. В семенах современных сортов содержится около 50 % технического масла, которое применяется в производстве лакокрасочных материалов, в полиграфической, текстильной и других отраслях промышленности. Высокая доля α -линоленовой жирной кислоты, способствующей снижению в организме уровня холестерина, улучшению жирового и белкового обмена, повышает интерес к использованию льняного масла в пищу в качестве лечебно-профилактической добавки. Лен не только биологически ценная, но и экономически выгодная культура с широким диапазоном почвенно-климатических условий для выращивания. В 2019 году Россия вышла на второе, после Канады, место в мире по производству семян льна, является крупнейшим поставщиком льняного масла на глобальном рынке. По прогнозу ФАО¹, к 2024 году можно ожидать увеличение спроса на мировом рынке на семена льна на 400 тыс. т (+21 % к показателю 2019 года), льняное масло – на 260 тыс. т (более чем вдвое). Повышенная рентабельность производства масличного льна является стимулом к созданию новых высокоурожайных сортов, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессам, что будет способствовать расширению ареала возделывания культуры.

Успех селекционной работы в значительной мере определяется исходным материалом, вовлеченным в процесс, степенью его генетического разнообразия. Лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.), вид, к которому относятся культивируемые сорта, является самоопылителем с вероятностью энтомофильного и аэрофильного переопыления 1-5 % [1]. Самоопыление – весомый фактор, влияющий на обеднение генофонда культуры. При разработке селекционных программ в качестве родительских форм чаще используются сорта с комплексом наиболее ценных признаков, что также приводит к снижению их генетического

разнообразия. Индивидуальный отбор является основным методом отбора у самоопылителей. В результате его применения создаются сорта, выравненные по морфологическим и основным хозяйственно важным признакам. Однако изучение сортов культур-самоопылителей показывает, что многие из них представляют собой смесь биотипов (скорее, генотипов) с разным соотношением растений, относящихся к ним [2].

Генетическое разнообразие масличного льна относительно невелико вследствие самоопыления и ограниченного числа исходных форм [3]. Для вовлечения в селекционные программы в качестве родительских форм генетически удаленных образцов широко проводится генотипирование коллекций исходного материала культурных растений [4, 5, 6]. Основным инструментом в проведении таких работ являются маркерные системы, основанные на нуклеотидной вариативности генома. В настоящее время чаще других для дифференцировки растений внутри вида, идентификации сортов используют системы микросателлитных маркерных локусов. Микросателлитные локусы (simple sequence repeats – SSR) представлены tandemными повторами простых последовательностей в структуре ДНК, причина полиморфизма которых – сайт-специфическое варьирование длины повтора, обусловленное различием в числе единиц повтора [7]. Микросателлитные локусы обладают свойствами идеальных маркеров: кодоминантны, распределены по всему геному, обладают значительной аллельной вариативностью, доступны и высокоинформативны.

Для льна разработана достаточно обширная база микросателлитных локусов [8, 9], используемая для изучения генетического разнообразия культурного льна [10] и идентификации его сортов [11].

Ранее нами были проведены работы по формированию информативной маркерной системы с последующим генотипированием коллекции сортообразцов масличного льна [12, 13].

¹ФГБУ «Центр Агроаналитики». Масличные. [Электронный ресурс] URL: <https://specagro.ru/analytics/202005/daydzhest-maslichnye-eksport-produkcii-apk-iz-rossii-v-kitay-prevysil-1-mlrd-doll> (дата обращения: 25.02.2022).

Цель исследований – определение генетической структуры различных сортов масличного льна с использованием системы полиморфных микросателлитных локусов.

Новизна исследований заключается в получении экспериментальных данных о молекулярно-генетической структуре и генетическом разнообразии современных сортов масличного льна для их дальнейшего вовлечения в селекционные программы в качестве родительских форм, а также для развития стратегий по сохранению генетического разнообразия селекционного материала.

Материал и методы. Материалом для исследования выбраны четыре сорта масличного льна селекции Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В. С. Пустовойта (ВНИИМК): Даник, Снегурок, Нилин и Август. Сорт Даник получен методом многократного индивидуального отбора на инфекционном фузариозном фоне из сложной межсортной гибридной популяции F₈, характеризуется дружностью цветения и созревания, высокой устойчивостью к полеганию и высокой масличностью [14]. Сорт Нилин получен методом многократного индивидуального отбора на жестком инфекционном фоне из сортообразца Ставропольского НИИСХ. Семена сорта содержат масло пищевого назначения использования с низким (2,9 %) содержанием линоленовой кислоты. Высота растений 80 см и выше, что предполагает также использование льносоломы сорта на волокно [15]. Сорт Август создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции третьего поколения, отличается очень высокой устойчивостью к фузариозу, осыпанию и полеганию [16]. Линейный сорт Снегурок создан на основе оригинальной технологии полиплоидной рекомбинации генома. Отличается высокой устойчивостью к отрицательным зимним температурам [17]. Сорта Даник, Нилин и Снегурок созданы на Центральной экспериментальной базе ВНИИМК, сорт Август – на Сибирской опытной станции ВНИИМК.

Для оценки генетической структуры сортов использовали выборки объемом до 50 растений каждого сорта. ДНК выделяли из тканей индивидуальных растений в стадии «елочка» описанным ранее СТАВ-методом [13]. В качестве инструмента для исследования использована маркерная система из 10 микросателлитных локусов [12].

Амплификацию проводили в 25 мкл реакционной смеси, включавшей: 2,5 мкл 10-кратного Taq ДНК-полимеразного буфера, 1 ед. рекомбинантной термостабильной ДНК-полимеразы (СибЭнзим, Москва), 3 мМ MgCl₂, по 0,2 мМ каждого из дезоксирибонуклеозидфосфатов; по 10 пМ праймеров, фланкирующих амплифицируемый locus, 0,25 мкл раствора (20 мг/мл) бычьего сывороточного альбумина и 10 нг матричной ДНК. Амплификацию проводили в термоциклере S1000™ (BioRad, США) при соблюдении температурно-временного режима, оптимального для каждой пары праймеров [12].

Электрофоретическое разделение ампликонов проводили в 8%-м полиакриламидном геле, в камерах вертикального электрофореза (VE-20, ДНК-технология, Россия). Окрашивание фракций амплифицированной ДНК осуществляли бромистым этидием. Визуализацию и документирование результатов проводили, используя систему BIO-PRINT (Vilber Lourmat, Франция). Размер фрагментов ДНК определяли с использованием программного обеспечения BioCapture той же системы относительно маркера длины фрагментов ДНК GeneRuler 100 bp DNA Ladder Thermo Scientific. Аллельный вариант локуса обозначали числом п. н. фрагмента ДНК. Основные показатели генетической изменчивости (число аллелей на locus *Na*, эффективное число аллелей *Ne*, наблюдаемая *Ho* и ожидаемая *He* гетерозиготности, информационный индекс Шеннона *I*, индекс фиксации *F*), а также анализ молекулярной дисперсии AMOVA (Analysis of Molecular Variance), анализ главных координат (PCoA) определяли с помощью программы GenAlEx 6.5 [18].

Результаты и обсуждение. В предыдущих исследованиях, при генотипировании 17 сортов масличного льна системой из 10 SSR-локусов, определено, что часть сортов гомогенна по аллельному составу, а часть – гетерогенна. Для генотипирования этих сортов использовали образцы ДНК, которые представляли собой смесь из пяти индивидуальных растений. У гомогенных сортов было выявлено по одной аллели на каждый locus, у гетерогенных – две и более аллелей на locus [13]. Гетерогенность могла быть следствием как гетерозиготности отдельных растений, так и наличием контрастных аллельных вариантов в выборке.

В текущем исследовании для уточнения причины гетерогенности образцов провели амплификацию ДНК отдельных растений. Результаты анализа продуктов амплификации ДНК пяти индивидуальных растений гетеро-

генного сорта Даник по четырем локусам (Lu8, Lu9, Lu11 и Lu24) показали, что растение 1 гетерозиготно по локусам Lu9, Lu11 и Lu24. Растения 2, 3 и 4 гомозиготны и генетически идентичны. Растение 5 генетически отлично от других растений выборки по четырем локусам. Таким образом, очевидно, что проанализированный образец сорта Даник включает как гомозиготные растения с различным аллельным состоянием локусов, так и гетерозиготные.

Для анализа генетической структуры выбраны четыре сорта масличного льна –

Даник, Снегурок, Нилин и Август. В сумме выборка составила 194 растения. С использованием системы из 10 пар праймеров, фланкирующих полиморфные микросателлитные локусы, амплифицировано 53 аллеля. Количество амплифицированных аллелей на локус варьировало от 2 до 10 со средним значением 5,3 аллеля на локус. Наиболее полиморфным оказался локус Lu8, у него выявлено 10 аллелей с частотой встречаемости от 0,01 до 0,96. Наименее полиморфный локус Lu10 – выявлено 2 аллеля с частотой встречаемости 0,37 и 1,00 (табл. 1).

Таблица 1 – Частоты встречаемости аллельных вариантов десяти микросателлитных локусов у сортов масличного льна /

Table 1 – Frequency of occurrence of allelic variants of 10 microsatellite loci in linseed flax varieties

Локус / Locus	Даник / Danik	Снегурок / Snegurok	Нилин / Nilin	Август / Avgust
Lu1	175*-0,21 197-0,79	151-1,00	171-0,65 182-0,31 185-0,01 192-0,02	192-0,40 197-0,56 200-0,02
Lu3	172-0,05 184-0,74 190-0,21	159-1,00	171-0,65 182-0,31 185-0,01 192-0,02	180-0,98 184-0,02
Lu7	120-0,02 143-0,98	143-0,98 151-0,02	143-0,04 151-0,78 162-0,18	143-0,02 151-0,98
Lu8	116-0,87 184-0,12 210-0,02	145-0,01 153-0,96 179-0,03	116-0,06 153-0,02 160-0,56 173-0,24 184-0,04 198-0,04 210-0,03	108-0,04 173-0,15 184-0,81
Lu9	113-0,65 165-0,34	113-0,01 146-0,01 161-0,98	113-1,00	113-0,04 161-0,96
Lu10	155-1,00	164-1,00	155-0,37 164-0,63	155-1,00
Lu11	118-0,66 162-0,34	118-0,01 146-0,01 162-0,98	118-1,00	118-0,58 162-0,42
Lu21	134-0,01 145-0,99	134-0,01 145-0,97 160-0,02	153-0,91 160-0,09	145-0,01 153-0,99
Lu24	118-0,65 164-0,35	111-0,01 128-0,01 164-0,98	111-0,96 160-0,04	164-1,00
Lu25	140-0,53 200-0,44 207-0,02	174-0,96 183-0,04	140-0,02 174-0,02 183-0,02 194-0,50 200-0,43	194-0,13 210-0,87

* – обозначение аллельного варианта локуса / * – designation of the allelic variant of the locus

Число амплифицированных аллелей на локус у сортов различно. Например, по локусу Lu8 амплифицировано 3, 3, 7, 3 аллели для сортов Даник, Снегурок, Нилин и Август соответственно. Наибольшее суммарное число амплифицированных аллелей выявлено у сорта Нилин – 29 аллелей. Для сортов Даник, Снегурок и Август этот показатель оказался одинаковым – 22 аллеля (табл. 2).

Эффективное число аллелей является мерой генетического разнообразия, характери-

зует локусы по частоте встречаемости аллелей. Исследуемые сорта различаются по данному показателю. Для сорта Нилин среднее значение эффективного числа аллелей 1,65, для сорта Даник – 1,52, сорта Август – 1,30, сорта Снегурок – 1,04.

Для каждого сорта были рассчитаны основные показатели генетического разнообразия с использованием программы GenAlEx 6.5 [18]. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Характеристика изученных SSR-локусов у сортов масличного льна /
Table 2 – Characteristics of the analyzed SSR-loci in linseed flax varieties

Локус / Locus	Число наблюдаемых/эффективных аллелей / Number of observed/effective alleles				
	общее / general	в сортах / in varieties			
		Даник / Danik	Снегурок / Snegurok	Нилин / Nilin	Август / Avgust
Lu1	9	2/1,49	1/1,00	4/1,90	5/2,13
Lu3	5	3/1,69	1/1,00	2/1,24	2/1,04
Lu7	4	2/1,04	2/1,04	3/1,55	2/1,05
Lu8	10	3/1,34	3/1,09	7/2,65	3/1,46
Lu9	4	2/1,84	3/1,04	1/1,00	2/1,09
Lu10	2	1/1,00	1/1,00	2/1,88	1/1,00
Lu11	3	2/1,82	3/1,03	1/1,00	2/1,96
Lu21	4	2/1,02	3/1,06	2/1,93	2/1,02
Lu24	5	2/1,84	3/1,04	2/1,09	1/1,00
Lu25	7	3/2,07	2/1,09	5/2,27	2/1,29
Сумма / Total	53	22/15,15	22/10,39	29/16,51	22/13,04
Среднее / Mean	5,3	2,2/1,52	2,2/1,04	2,9/1,65	2,2/1,30

Таблица 3 – Основные показатели генетического разнообразия сортов масличного льна, выявленные микросателлитным анализом /

Table 3 – The main indicators of genetic diversity of linseed flax varieties revealed by microsatellite analysis

Copm / Variety	Na	Ne	I	Ho	He	F
Даник / Danik	2,200±0,200	1,514±0,126	0,455±0,093	0,097±0,058	0,292±0,064	0,566±0,153
Снегурок / Snegurok	2,200±0,291	1,040±0,010	0,096±0,023	0,023±0,006	0,038±0,010	0,364±0,126
Нилин / Nilin	2,900±0,605	1,578±0,183	0,515±0,135	0,019±0,006	0,292±0,074	0,879±0,056
Август / Avgust	2,100±0,277	1,303±0,132	0,295±0,099	0,062±0,044	0,174±0,065	0,655±0,133

Примечания: Na – число аллелей на локус, Ne – эффективное число аллелей, I – информационный индекс Шеннона, Ho – наблюдаемая гетерозиготность, He – ожидаемая гетерозиготность, F – индекс фиксации /

Notes: Na – number of observed alleles, Ne – number of effective alleles, I – Shannon information index, Ho – observed heterozygosity, He – expected heterozygosity, F – Fixation index

Максимальное число аллелей на локус определено для сорта Нилин (2,9±0,6). Сорта Даник, Снегурок, Август по этому показателю малоразличимы. Эффективное число аллелей и индекс Шеннона – показатели, характеризующие уровень внутрисортного генетического

разнообразия, снижаются в направлении сортового ряда Нилин, Даник, Август, Снегурок. Соотношение наблюдаемой (Ho) и ожидаемой (He) гетерозиготности для всех анализируемых сортов происходит с численным перевесом в сторону ожидаемой гетерозиготности, что

является признаком инбредной популяции, в которой доля случайного скрещивания сведена к минимуму [19]. По статистическим характеристикам (N_a , N_e , I , F) сорт Нилин показал наибольшее генетическое разнообразие.

По численному значению у сорта Снегурок показатели гетерозиготности (H_e , H_o) наименьшие. Сорт морозоустойчивого масличного льна Снегурок получен на основе оригинальной технологии полиплоидной рекомбинации генома (ТПР). Исходным для него растением послужила репродуктивная особь СЗ с рекомбинированным геномом, выделенная из колхичинированной тетраплоидной формы сорта Oliver с последующей многолетней полевой оценкой при подзимних посевах по признакам высокой морозоустойчивости и зимостойкости [17]. Анализируя структуру сорта по выборке из 49 индивидуальных растений, определили, что 46 растений гомозиготны, имеют одинаковый аллельный состав по 10 SSR-локусам, два растения гетерозиготны по спектрам пяти локусов, одно растение гомозиготно с чужеродным спек-

тром по четырем локусам. Уровень типичности использованного в исследовании образца 94 %. Три нетипичных растения могут быть результатом перекрестного опыления, либо механического засорения чужеродными семенами. Таким образом, установлен линейный характер сорта Снегурок с небольшой невыровненностью по микросателлитным локусам. На основе полученных результатов можно составить генотипический паспорт сорта по 10 SSR-локусам: Lu1₁₅₁, Lu3₁₅₉, Lu7₁₄₃, Lu8₁₅₃, Lu9₁₆₁, Lu10₁₆₄, Lu11₁₆₂, Lu 21₁₄₅, Lu24₁₆₄, Lu25₁₇₄. Напротив, гетерогенность аллельного состава микросателлитных локусов у остальных изучаемых сортов не позволяет отнести сорта Нилин, Даник и Август к линейным.

Анализ молекулярной вариации (AMOVA) показывает распределение общей генетической изменчивости между исследованными сортами и в их пределах. Установлено, что 71,0 % от общей дисперсии обусловлена различиями между сортами, а 29,0 % – различиями между индивидами внутри сортов (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты AMOVA анализа общего генетического разнообразия масличного льна четырех сортов /
Table 4 – Results of the AMOVA analysis of the total genetic diversity of four linseed flax varieties

Источник разнообразия / Source of diversity	Число степеней свободы (df) / Number of the degree of freedom	Сумма квадратов (SS) / Sum of squares	Доля в общей дисперсии / Part in total dispersion		P
			абс. значения / absolute value	%	
Между сортами / Among varieties	1	1601,34	10,92	71,0	0,001
Внутри сортов / Inside varieties	190	840,11	4,42	29,0	-
Всего / Total	193	2441,44	15,34	100,0	-

Расположение сортов по результатам анализа методом главных координат (РСоА) демонстрирует их дистанционированность друг от друга и отсутствие генетического родства. Максимально обособленно в системе координат расположен сорт Снегурок (рис. 1).

Таким образом, структура сортов, оцененная системой полиморфных микросателлитных локусов, различна. Сорта Даник, Август и Нилин созданы методом многократного индивидуального отбора из гибридных популяций F_8 , F_3 и сортообразца, соответственно, на жестких инфекционных фонах по фенотипическим признакам [14, 15, 16] Индивидуальный отбор является практически основным видом отбора в селекции самоопылителей. В результате его применения создаются сорта, выравненные по морфологическим и основным хозяйственно

важным признакам. Однако изучение генетической структуры сортов культур-самоопылителей показывает, что многие из них представляют собой смесь генотипов с разной долей растений, к ним относящихся [2]. По полученным нами результатам, обозначенные выше сорта представляют собой популяции, состоящие из набора генотипов с различной частотой встречаемости (табл. 1). Нам не удалось представить эти сорта как сумму четко выраженных биотипов подобно тому, как сделано на сортах рапса [20]. Причина внутрисортного генетического разнообразия изученных сортов, возможно, заключается в том, что в процессе индивидуального отбора у самоопылителей достигается гомозиготность по ограниченному числу генов, определяющих основные морфологические и хозяйственные признаки. При этом

сохраняется гетерогенность по части нейтральных к отбору генов [2]. Микросателлитные локусы представляют некодирующую часть генома, следовательно, нейтральны для селективных отборов по морфологическим и хозяйственным признакам. Некоторые отличия анализированных сортов-популяций по показателям внутрисортного генетического разнообразия (табл. 3) могут быть следствием различных схем скрещиваний и отборов в их происхождении (14, 15, 16, 17). Генетические различия между родительскими формами непосред-

ственно влияют на комбинационную изменчивость гибридного потомства, скорость гомоготизации сорта и вероятность формирования особей с отличающимися от сортовой нормы признаками [21]. Полученные результаты о популяционной структуре и внутрисортном генотипическом разнообразии могут быть полезны в подборе родительских пар при создании новых сортов, предлагая оптимальную основу для увеличения генетического фонда и развития стратегий по сохранению генетического разнообразия селекционного материала.

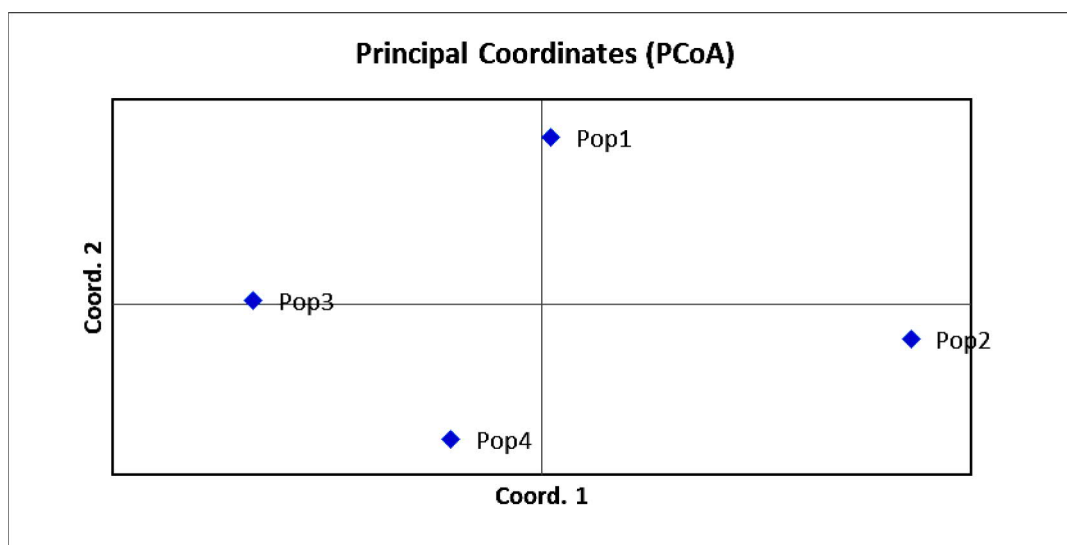


Рис. 1. Распределение сортов масличного льна в пространстве главных координат: Pop1 – Даник, Pop2 – Снегурок, Pop3 – Нилин, Pop4 – Август /

Fig. 1. Distribution of linseed flax varieties in the space of main coordinates: Pop1 – Danik, Pop2 – Snegurok, Pop3 – Nilin, Pop4 – August

Заключение. Анализ генетической структуры сортов масличного льна Даник, Снегурок, Август и Нилин по 10 полиморфным микросателлитным локусам показал следующие результаты. В сумме детектировано 53 аллеля. По статистическим характеристикам (N_a , N_e , I , F) сорт Нилин является источником наибольшего генетического разнообразия. Для всех сортов соотношение ожидаемой H_e и наблюдаемой H_o гетерозиготности соответствует инбредным популяциям с минимальной долей случайного скрещивания. По аллельному состоянию 10 SSR-локусов

сорт Снегурок относится к линейному типу, что соответствует его происхождению. Составлен его генетический паспорт по данным локусам. По результатам анализа молекулярной вариации (AMOVA) 71 % общей дисперсии обусловлен генетическими различиями между сортами, 29 % – внутрисортным генетическим разнообразием. Расположение сортов по результатам анализа методом главных координат (PCoA) демонстрирует их дистанцированность и отсутствие генетического родства. Максимально обособленно в системе координат расположен сорт Снегурок.

Список литературы

1. Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Рябенко Л. Г., Овчарова Л. Р. Типы и способы естественного опыления льна обыкновенного *Linum usitatissimum* L. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(1(173)):105-113. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-1-173-105-113>
2. Пухальский В. А. Проблемы генетической теории селекции растений. Вестник ВОГиС. 2005;9(3):306-316. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9127250>

3. Ущаповский И. В., Лемеш В. А., Богданова М. В., Гузенко Е. В. Особенности селекции и перспективы применения молекулярно-генетических методов в генетико-селекционных исследованиях льна (*Linum usitatissimum* L.). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):602-616. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.602rus>
4. Varshney R. K., Bohra A., Yu J., Graner A., Zhang Q., Sorrells M. E. Designing future crops: genomics-assisted breeding comes of age. Trends in Plant Science. 2021;26(6):631-649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.010>
5. Gasi F., Sehic J., Grahic J., Hjeltnes S. H., Ordidge M., Benedikova D., Blouin-Delmas M., Drogoudi P., Giovannini D., Höfer M., Kahu K., Kovács S., Lācis G., Lateur M., Toldam-Andersen T. B., Ognjanov V., Nybom H. Genetic assessment of the pomological classification of plum *Prunus domestica* L. accessions sampled across Europe. Genetic Resources and Crop Evolution. 2020;67:1137-1161. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00901-y>
6. Супрун И. И., Степанов И. В., Токмаков С. В., Еремин Г. В. Оценка генетического полиморфизма сливы домашней на основе анализа микросателлитных локусов. Генетика. 2019;55(2):165-173. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016675819010144>
7. Aiello D., Ferradini N., Torelli L., Volpi C., Lambalk J., Russi L., Albertini E. Evaluation of cross-species transferability of SSR markers in *Foeniculum vulgare*. Plants. 2020;9(2):175. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9020175>
8. Xin Deng, SongHua Long, DongFeng He, Xiang Li, YuFu Wang, DongMei Hao, CaiSheng Qiu, Xin-Bo Chen. Isolation and characterization of polymorphic microsatellite markers from flax (*Linum usitatissimum* L.). African Journal of Biotechnology. 2011;10(5):734-739. URL: https://www.researchgate.net/publication/224826039_Isolation_and_characterization_of_polymorphic_microsatellite_markers_from_flax_Linum_usitatissimum_L
9. Soto-Cerda B. J., Saaverda H. U., Navarro C. N., Ortega P. M. Characterization of novel genic SSR markers in *Linum usitatissimum* (L.) and their transferability across eleven *Linum* species. Electronic Journal of Biotechnology. 2011;14(2):4-4.
10. Chandrawati R., Singh N., Kumar R., Kumar S., Singh P. K., Yadav V. K., Ranade S. A., Yadav K. H. Genetic diversity, population structure and association analysis in linseed (*Linum usitatissimum* L.). Physiology and Molecular Biology of Plants. 2017;23(1):207-219. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0408-5>
11. Базанов Т. А., Ущаповский И. В., Логинова Н. Н., Смирнова Е. В., Михайлова П. Д. Формирование системы генетической паспортизации масличного льна. Аграрная наука. 2020;(7-8):80-83. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-80-83>
12. Челюстникова Т. А., Гучетль С. З., Антонова Т. С. Микросателлитные локусы для идентификации сортов льна масличного селекции ВНИИМК: подбор информативных праймеров и оптимальных условий ПЦР ДНК. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2019;(2(178)):41-46. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-2-178-41-46>
13. Гучетль С. З., Челюстникова Т. А. Генотипирование сортов льна масличного с использованием системы микросателлитных ДНК маркеров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(5):531-539. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.531-539>
14. Рябенко Л. Г., Зеленцов В. С., Овчарова Л. Р., Галкина Г. Г., Сляров С. В. Сорт масличного льна Даник. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015;(4(164)):141-142. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25304529>
15. Рябенко Л. Г., Зеленцов В. С., Овчарова Л. Р., Галкина Г. Г., Сляров С. В. Сорт масличного льна Нилин. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015;(4(164)):143-144. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25304530>
16. Минжасова А. К., Лошкормойников И. А. Сорт масличного льна Август. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2017;(2(170)):115-116. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29712585>
17. Рябенко Л. Г., Зеленцов В. С., Овчарова Л. Р., Зеленцов В. С., Сляров С. В., Мошненко Е. В. Зимующий сорт масличного льна Снегурок. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(4(184)):99-102. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-4-184-99-102>
18. Peakall R., Smouse P. E. GenAEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. Bioinformatics. 2012;28(19):2537-2539. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
19. Чесноков Ю. В., Косолапов В. М. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. М.: ООО «Угрешская типография», 2016. 172 с. Режим доступа: <https://www.vniikormov.ru/pdf/geneticheskie-resursy-rastenii-i-uskorenie-selekcionnogo-protsessa.pdf>
20. Рогожина Т. Г., Анискина Ю. В., Карпачев В. В., Шилов И. А. Использование микросателлитного анализа для выявления биотипов у сортов ярового рапса (*Brassica napus* L.). Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015;(2(162)):27-33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24037018>
21. Лукомец В. М., Зеленцов В. С., Мошненко Е. В. Теоретическое обоснование возможности отбора перспективных особей в сортовых популяциях самоопылителей на примере сои. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2021;(2(186)):31-40. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-2-186-31-40>

References

1. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Ryabenko L. G., Ovcharova L. R. *Tipy i sposoby estestvennogo opyleniya l'na obyknovennogo Linum usitatissimum L.* [The types and methods of natural pollination of flax *Linum usitatissimum* L.]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(1(173)):105-113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-1-173-105-113>
2. Pukhal'skiy V. A. *Problemy geneticheskoy teorii seleksii rasteniy.* [Problems of the genetic theory of plant breeding]. *Vestnik VOGiS.* 2005;9(3):306-316. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9127250>
3. Ushchapovskiy I. V., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., Guzenko E. V. *Osobennosti seleksii i perspektivy primeneniya molekulyarno-geneticheskikh metodov v genetiko-seleksionnykh issledovaniyakh l'na (Linum usitatissimum L.).* [Particularity of breeding and perspectives on the use of molecular genetic methods in flax (*Linum usitatissimum* L.) genetics and breeding research (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):602-616. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.602rus>
4. Varshney R. K., Bohra A., Yu J., Graner A., Zhang Q., Sorrells M. E. Designing future crops: genomics-assisted breeding comes of age. *Trends in Plant Science.* 2021;26(6):631-649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.010>
5. Gasi F., Sehic J., Grahic J., Hjeltnes S. H., Ordidge M., Benedikova D., Blouin-Delmas M., Drogoudi P., Giovannini D., Höfer M., Kahu K., Kovács S., Lăcis G., Lateur M., Toldam-Andersen T. B., Ognjanov V., Nybom H. Genetic assessment of the pomological classification of plum *Prunus domestica* L. accessions sampled across Europe. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2020;67:1137-1161. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00901-y>
6. Suprun I. I., Stepanov I. V., Tokmakov S. V., Eremin G. V. *Otsenka geneticheskogo polimorfizma slivy domashney na osnove analiza mikrosatelitnykh lokusov.* [Study of prunus domestica genetic diversity by analysis of microsatellite loci]. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2019;55(2):165-173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016675819010144>
7. Aiello D., Ferradini N., Torelli L., Volpi C., Lambalk J., Russi L., Albertini E. Evaluation of cross-species transferability of SSR markers in *Foeniculum vulgare*. *Plants.* 2020;9(2):175. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9020175>
8. Xin Deng, SongHua Long, DongFeng He, Xiang Li, YuFu Wang, DongMei Hao, CaiSheng Qiu, Xin-Bo Chen. Isolation and characterization of polymorphic microsatellite markers from flax (*Linum usitatissimum* L.). *African Journal of Biotechnology.* 2011;10(5):734-739. URL: https://www.researchgate.net/publication/224826039_Isolation_and_characterization_of_polymorphic_microsatellite_markers_from_flax_Linum_usitatissimum_L
9. Soto-Cerda B. J., Saaverda H. U., Navarro C. N., Ortega P. M. Characterization of novel genic SSR markers in *Linum usitatissimum* (L.) and their transferability across eleven *Linum* species. *Electronic Journal of Biotechnology.* 2011;14(2):4-4.
10. Chandrawati R., Singh N., Kumar R., Kumar S., Singh P. K., Yadav V. K., Ranade S. A., Yadav K. H. Genetic diversity, population structure and association analysis in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants.* 2017;23(1):207-219. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0408-5>
11. Bazanov T. A., Ushchapovskiy I. V., Loginova N. N., Smirnova E. V., Mikhaylova P. D. *Formirovanie sistemy geneticheskoy pasportizatsii maslichnogo l'na.* [Formation of a system of genetic certification of linseed]. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2020;(7-8):80-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-80-83>
12. Chelyustnikova T. A., Guchetl S. Z., Antonova T. S. *Mikrosatelitnye lokusy dlya identifikatsii sortov l'na maslichnogo seleksii VNIIMK: podbor informativnykh praymerov i optimal'nykh usloviy PTsR DNK.* [Microsatellite loci for identification of oil flax varieties of the breeding of V. S. Pustovoit All-russian Research Institute of oil crops: selection of informative primers and optimal conditions for DNA PCR]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2019;(2(178)):41-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-2-178-41-46>
13. Guchetl S. Z., Chelyustnikova T. A. *Genotipirovanie sortov l'na maslichnogo s ispol'zovaniem sistemy mikrosatelitnykh DNK markerov.* [Genotyping oil flax varieties using the microsatellite DNA marker system]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(5):531-539. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.531-539>
14. Ryabenko L. G., Zelentsov V. S., Ovcharova L. R., Galkina G. G., Sklyarov S. V. *Sort maslichnogo l'na Danik.* [A variety of oil flax Danik]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2015;(4(164)):141-142. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25304529>
15. Ryabenko L. G., Zelentsov V. S., Ovcharova L. R., Galkina G. G., Sklyarov S. V. *Sort maslichnogo l'na Nilin.* [A variety of oil flax Nilin]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-*

issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2015;(4(164)):143-144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25304530>

16. Minzhasova A. K., Loshkomoynikov I. A. *Sort maslichnogo l'na Avgust*. [The new oil flax variety Avgust]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2017;(2(170)):115-116. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29712585>

17. Ryabenko L. G., Zelentsov S. V., Ovcharova L. R., Zelentsov V. S., Sklyarov S. V., Moshnenko E. V. *Zimuyushchii sort maslichnogo l'na Snegurok*. [Winter variety of oil flax Snegurok]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2020;(4(184)):99-102. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-4-184-99-102>

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

19. Chesnokov Yu. V., Kosolapov V. M. *Geneticheskie resursy rastenii i uskorenie selektsionnogo protsesssa*. [Genetic resources of plants and acceleration of breeding process]. Moscow: OOO «Ugreshskaya tipografiya», 2016. 172 p. URL: <https://www.vniikormov.ru/pdf/geneticheskie-resursy-rastenii-i-uskorenie-selekcionnogo-protcesssa.pdf>

20. Rogozhina T. G., Aniskina Yu. V., Karpachev V. V., Shilov I. A. *Ispol'zovanie mikrosatelitnogo analiza dlya vyavleniya biotipov u sortov yarovogo rapsa (Brassica napus L.)*. [An application of microsatellite analysis for detection of biotypes from spring rapeseed cultivars (*Brassica napus L.*)]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2015;(2(162)):27-33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24037018>

21. Lukomets V. M., Zelentsov S. V., Moshnenko E. V. *Teoreticheskoe obosnovanie vozmozhnosti otbora perspektivnykh osobey v sortovykh populyatsiyakh samoopyliteley na primere soi*. [Theoretical justification of the possibility to select perspective individuals in cultivar populations of self-pollinators on the example of soybean]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2021;(2(186)):31-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-2-186-31-40>

Сведения об авторах

✉ **Гучетль Саида Заурбиевна**, кандидат биол. наук, зав. 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: <https://orcid.org/0000-0002-2193-5230>, e-mail: saida.guchetl@mail.ru

Челюстникова Татьяна Аркадьевна, аналитик 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: <https://orcid.org/0000-0003-3981-5832>

Аверина 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: <https://orcid.org/0000-0003-0599-9100>

Information about the authors

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

Tatyana A. Chelyustnikova, analyst of the Laboratory of Molecular Genetic Research, V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops, 17 Filatov street, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3981-5832>

Anastasia A. Averina, laboratory assistant researcher of the Laboratory of Molecular Genetic Research, V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops, 17 Filatov street, Krasnodar, Russian Federation, 350038, e-mail: vniimk@vniimk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0599-9100>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка сортов коллекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.) по хозяйственно важным признакам

© 2022. Ю. С. Осипова, В. В. Леонтьева✉, Д. А. Дементьев
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В работе представлены результаты исследований за 2018-2020 гг. по изучению 248 российских и зарубежных сортов коллекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.) с целью выделения перспективных с комплексом хозяйственно важных признаков для создания новых сортов, адаптированных к природно-климатическим условиям районов хмелеводства РФ. Исследования проведены в условиях Чувашской Республики на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве. Выделено 60 сортов хмеля в ранней, среднеранней и среднеспелой группе спелости с урожайностью более 26,3 ц/га (массой более 3,5 кг сырых шишек с одного куста). Высокоурожайные сорта преобладали (67 %) в среднеспелой группе коллекции. Адаптивность коллекционных сортов к природно-климатическим условиям оценивали на третий, четвертый и пятый годы жизни насаждений хмеля (в трех закладках). Выделены 6 сортов, которые в отдельные годы жизни по коэффициенту адаптивности превысили контрольный сорт Подвязный (1,23-1,23-1,15): раннеспелый английский *Golden Star* (1,58-1,37-1,03); среднеранний российский *Звениговский* (1,72-1,16-1,07); среднеспелые российские *Серебрянка* *Калистовская* (1,47-1,28-1,17), *Гуслицкий* (1,50-1,26-1,23), украинские *Кругляк-Серяк* (1,76-1,44-1,18), *Группа 4* (1,80-1,80-1,31). Из них наиболее стабильно высокие результаты показали: *Группа 4*, *Гуслицкий*, *Кругляк-Серяк*. Отдельно отмечались высокосолистые сорта с повышенным содержанием альфа-кислот, относящиеся к разным типам хмеля. По комплексу хозяйственно ценных признаков и устойчивости к ложной мучнистой росе выделены 19 коллекционных сортов.

Ключевые слова: *Humulus lupulus* L., группа спелости, содержание альфа-кислот, хозяйственно важный признак, коэффициент адаптивности

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (тема № 0528-2019-0092).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Осипова Ю. С., Леонтьева В. В., Дементьев Д. А. Оценка сортов коллекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.) по хозяйственно важным признакам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):194-202. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.194-202>

Поступила: 05.10.2021

Принята к публикации: 01.04.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Evaluation of varieties of common hop (*Humulus lupulus* L.) collection according to agronomic traits

© 2022. Yulya S. Osipova, Valentina V. Leontieva✉, Dmitrii A. Dementiev
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The paper presents the results of 2018-2020 research on the study of 248 Russian and foreign varieties of the collection of common hop (*Humulus lupulus* L.) in order to identify promising ones with a complex of agronomic traits for developing new varieties adapted to the natural and climatic conditions of the hop-growing regions of the Russian Federation. The research was carried out in the conditions of the Chuvash Republic on dark gray forest heavy loamy soil. Sixty hop varieties in the early-ripening, mid-early and mid-ripening groups with the yields above 26.3 c/ha (weighing more than 3.5 kg of raw cones from one bush) were identified. High-yielding varieties prevailed in the mid-ripening group of the collection (67 %). The adaptability of the collection varieties to natural and climatic conditions was evaluated on the third, fourth and fifth years of the hop plantings (in three tabs). There have been identified six varieties, which in some years of growing exceeded the control variety *Podvazny* according to adaptability coefficients (1.23-1.23-1.15): early-ripening English variety *Golden Star* (1.58-1.37-1.03); mid-early Russian variety *Zvenigovsky* (1.72-1.16-1.07); mid-ripening Russian variety *Serebryanka* *Kalistrovskaya* (1.47-1.28-1.17), *Guslitsky* (1.50-1.26-1.23), Ukrainian *Kruglyak-Seryak* (1.76-1.44-1.18), *Group 4* (1.80-1.80-1.31). The most consistently high results were shown by *Group 4*, *Guslitsky*, *Kruglyak-Seryak*. High-resinous varieties with a high content of alpha acids belonging to different types of hops were noted specifically. According to the complex of agronomic traits and resistance to false powdery mildew, 19 collection varieties have been identified.

Keywords: *Humulus lupulus* L., ripeness group, alpha - acid content, agronomic trait, coefficient of adaptability

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0092).

The author thanks the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

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

For citation: Osipova Yu. S., Leontieva V. V., Dementiev D. A. Evaluation of varieties of comcho hop (*Humulus lupulus* L.) collection according to agronomic traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2): 194-202. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.194-202>

Received: 05.10.2021

Accepted for publication: 01.04.2022

Published online: 20.04.2022

Успех селекционной работы зависит во многом от исходного материала. Необходимо иметь полную информацию об исходном материале для целенаправленного и эффективного его использования в селекционной работе. В Чувашском НИИСХ проводится работа по изучению сортов коллекции хмеля обыкновенного, являющихся исходным материалом в селекционной работе. В коллекционном питомнике произрастают зарубежные и отечественные сорта, завезенные в 80-х годах прошлого века из Украинского института хмелеводства (г. Житомир) и Российской научно-исследовательской хмелеводческой станции (Московская область, п. Калистово). На протяжении всех лет существования коллекции она пополнялась сортами из Украины, Польши, Чехии, местными сортами из разных регионов России и дикорастущими формами. Коллекция является бесценной для проведения селекции и выведения новых сортов хмеля в России, так как в ней собрано огромное разнообразие качественных и количественных признаков в сортах различного происхождения [1]. Выделившиеся лучшие сорта коллекции используются в качестве материнских растений в питомниках свободной и принудительной гибридизации и при клоновом отборе.

Основным признаком отбора материала в селекции является урожайность сорта [2, 3]. Безусловно, этот показатель имеет зависимость от генотипа исследуемого сорта, а также от того, какие в вегетационный период сложились погодные условия [4]. В исследованиях учёных достаточно много информации о влиянии абиотических факторов на различные сорта большинства культур [5, 6, 7, 8, 9, 10], но информации об адаптивности сортов хмеля и изменении их урожайности недостаточно [11, 12, 13, 14, 15].

Цель исследований – выделить перспективные сорта в биоресурсной генетической коллекции хмеля обыкновенного ароматического, универсального и горького типов с комплексом хозяйственно важных признаков для создания новых сортов, адаптированных к природно-климатическим условиям районов хмелеводства РФ, соответствующих мировым стандартам.

Научная новизна работы заключается в получении экспериментальных данных по адаптивности коллекционных сортов хмеля к

природно-климатическим условиям Чувашской Республики.

Материал и методы. Объектом исследования служили 248 сортов хмеля: 70 – из различных регионов России, 178 – из зарубежных стран: Чехия – 31, Великобритания – 28, Германия – 20, Украина – 23, Польша – 12. По 6-10 сортов – из Югославии, Литвы, Франции, Бельгии и США. По 1-3 сорта – из Швеции, Голландии, Болгарии Швейцарии, Японии, Дании и Новой Зеландии [2].

Коллекция сортов хмеля Чувашского НИИСХ заложена на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве со средним уровнем плодородия пахотного слоя (участок № 13). Глубина пахотного слоя 22 см. Агрохимические показатели почвы: $pH_{\text{кол}}$ – 5,25; содержание P_2O_5 – 410 мг/кг, K_2O – 202 мг/кг, гумус – 4,16 %. В коллекционном питомнике проведены общепринятые для насаждений хмеля агротехнические мероприятия.

Коллекция закладывается в четвертый раз и на момент наблюдений в данной закладке растения произрастали 5 лет. Закладка хмельника проходила согласно требованиям к размещению сортов с учётом продолжительности вегетации и сроков созревания растений. Сорта сгруппированы по срокам созревания, образуют 5 групп спелости и рассажены в 11 рядов, где группа раннеспелых сортов заняла 1 ряд, среднеранних – 1,5 ряда, среднеспелых – 4,5 ряда, среднепоздних – 1 ряд и позднеспелых – 3 ряда.

Сорта представлены пятью растениями. По диагонали участка размещены стандарты, являющиеся сортами отечественной селекции, внесенными в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Стандарт-1 – универсальный горько-ароматический среднеранний сорт Подвязный. К стандарту-2 в каждой группе отнесён лидирующий сорт: в раннеспелой группе – сорт Феодал, в среднеранней – Фараон, в среднеспелой – Флагман, в среднепоздней и позднеспелой группах – сорт Крылатский.

Коллекция хмеля представлена исключительно женскими растениями. Биологическая особенность этого многолетнего растения в том, что сорта можно сохранять исключительно в живом виде. Ежегодно рано весной на них проводится ручная обрезка главных

корневищ, при которой производится учёт выпавших растений. Недостающие кусты подсаживаются стеблевыми черенками, которые только что срезали.

Наблюдения за растениями проводили в соответствии с методиками¹. Адаптивность коллекционных образцов оценивали на третий, четвертый, пятый годы жизни насаждений. Коэффициент адаптивности рассчитан по методике Л. А. Животкова².

За вегетационный период роста и развития растения в питомнике проводятся фенологические и, при необходимости, морфологические наблюдения, а также оценивается поражённость вредителями и болезнями по 5-балльной шкале. При достижении фазы технической спелости растений хмеля проводится ручная «щипка» для учета урожая и отбора образцов шишек на анализ. Урожай рассчитывается методом выборочных кустов путем взвешивания. Содержание альфа-кислот (основного качественного показателя хмеля) определяли в отобранной пробе шишек кондуктометрическим методом³.

Результаты и их обсуждение. В течение 2018-2020 годов в коллекционном питомнике изучали 248 российских и зарубежных сортов хмеля по их хозяйственно важным признакам для использования в селекционной работе. Сортосовый состав по группам спелости из года в год остается постоянным (табл. 1). Различия по годам можно наблюдать в развитии сортов хмеля в период прохождения фенологических фаз, в количестве и качестве собранного урожая. Полученные данные варьируют по годам.

Урожайность хмеля варьировала как по годам, так и сортам. В ходе изучения 2018-2020 гг. было выделено 60 высокоурожайных сортов, продуктивность которых превышала 3,5 кг сырых шишек с одного куста (в переводе на урожайность с гектара – 26,3 ц сухого хмеля). По урожайности выделились следующие сорта отечественной селекции: в раннеспелой группе – сорт Галинский, среднеранней – Подвязный (стандарт для всех групп спелости) и Фаворит.

Высокоурожайные сорта преобладали (67 %) в среднеспелой группе коллекции. В большинстве своём это были сорта английского, украинского, польского и чешского происхождения. В позднеспелой группе, представленной сортами зарубежной селекции, не выявлено высокоурожайных. Урожайность на уровне 2,0 кг/куст (15,0 ц/га) отмечена только у 11 из 72 сортов, т. к. большинство из них к моменту уборки (начало сентября) только достигли фазы цветения.

Так как четвертая закладка коллекции проводилась на новом участке, кроме основных хозяйственно полезных показателей, были определены коэффициенты вариации продуктивности (CV) и адаптивности сортов коллекции хмеля к природно-климатическим условиям Чувашской Республики на третий (табл. 2), четвертый (табл. 3) и пятый (табл. 4) годы жизни насаждений. Коэффициенты адаптивности сортов разных групп спелости рассчитаны в сравнении с единым стандартом – сортом Подвязный (Россия), в таблицы включены сорта с максимальными показателями адаптивности.

Из данных таблицы 2 следует, что в раннеспелой группе на третьем году жизни английский сорт Golden Star по адаптивности превзошёл контрольный вариант сорт Подвязный на 28,5 %. При этом вариативность его урожайности по годам показала более стабильный результат в сравнении с контролем.

Среди среднеранних сортов лишь один сорт Звениговский по адаптивности превысил стандарт, однако высокая вариабельность продуктивности по годам CV = 43,41 %, свидетельствует о неустойчивости сорта к изменениям погодных условий региона.

Отдельно выделяется сорт Кругляк-Серяк, который в сравнении со всеми сортами имел как наибольшую адаптивность к погодным условиям по третьему году жизни, так и наибольшую устойчивость к агроклиматическим изменениям. Сорт Звениговский хоть и имел максимальную адаптивность после Кругляк-Серяк, но погодная изменчивость существенно влияла на урожайность сорта.

¹Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.3. Вып. 3. Масличные, эфиромасличные, лекарственные и технические культуры, шесовица, тутовый шелкопряд. М.: Колос, 1983. С. 79-83.

URL: <https://docplayer.com/28131049-Metodika-gosudarstvennogo-sortoispytaniya-selskohozyaystvennyh-kultur.html>;
Методика проведения испытаний на отличимость, однородность, стабильность. Хмель (*Humulus lupulus* L.). Официальный бюллетень Госсорткомиссии. 2008. №9 (139), 710 с.

²Животков Л. А., Морозова З. А. Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов озимой пшеницы по показателю урожайность. Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-7.

³Либакский Е. П. Хмелеводство. М.: Колос, 1984. С. 46-56.

Таблица 1 – Характеристика сортов коллекции хмеля по группам спелости /
 Table 1 – Characteristics of hop collection varieties by ripeness groups

Группа спелости / Ripeness Group	Вегетационный период, дни / Growing season, days	Доля сортов в группе спелости, % / The proportion of varieties in the ripeness group, %	Срок наступления технической спелости / The period of onset of technical ripeness	Сорта / Varieties
Ранняя / Early	100 и менее / 100 or less	9,3	II декада августа / 2nd decade of August	Отечественные, экспедиционные образцы, 6 зарубежных: Admiral, Target, Wey Challenger (Англия), Northern Brewer, Sladek, Жатецкий зеленяк (Чехия) / Domestic, expedition samples, 6 foreign: Admiral, Target, Wey Challenger (England), Northern Brewer, Sladek, Zhateckij zelenyak (Czech)
Среднеранняя / Mid-early	101-110	13,7	III декада августа / 3d decade of August	Экспедиционные образцы из Чувашии, клоны РНИХС*, 4 зарубежных: Nugget, Galena (США), Hallertau Magnum (Германия), Apollon (Югославия) / Expedition samples from Chuvashia, clones of RNHS*, 4 foreign Nugget, Galena (USA), Hallertau Magnum (Germany), Apollon (Yugoslavia)
Среднеспелая / Mid-ripening	111-120	40,3	I декада сентября / 1 st decade of September	Сумерь, Крылатский, Флагман, Серебрянка (Россия), многие украинские, чешские, польские, немецкие и английские / Sumer', Krylatskij, Flagman, Serebryanka (Russia), many Ukrainian, Czech, Polish, German and English
Среднепоздняя / Mid-late	121-130	6,9	II декада сентября / 2nd decade of September	Пересветский, Скороспелка Московская (Россия), преобладают польские, английские, немецкие / Peresvetskij, Skorospelka Moskovskaya (Russia), Polish, English, German varieties prevail
Поздняя / Late	Более 130 / More than 130	29,0	В условиях северной части Чувашской Республики не вызревают / In the conditions of the northern part of the Chuvash Republic they do not ripen	Из Югославии, Бельгии, Германии, Англии и других стран / Yugoslavia, Belgium, Germany, England and other countries

* РНИХС – Российская научно-исследовательская хмелеводческая станция /

* RNHS – Russian Hop-growing Research Station

Показатели адаптивности сортов хмеля на четвертый год жизни растений по 3 закладкам даны в таблице 3.

На четвертый год жизни хмель вступает в полную силу плодоношения. Корневая система растений к этому возрасту уже набрала основную массу. Это может влиять на показатели адаптивности и пластичности сорта.

Среди ранних сорт Golden Star имел лучшую адаптивность в сравнении с контролем, но вариативность его урожайности от агроклиматических условий в 2,5 раза уступала контрольному сорту Подвязный. Вариативность среднераннего сорта Звениговский хоть и заметно снизилась, в сравнении с третьим годом жизни, но значительно уменьшилась и адаптивность.

Наибольший коэффициент адаптивности на четвертый год жизни выделен у сортообразца Группа 4, у украинского сорта Кругляк-Серяк – 1,44. Вариативность урожайности по годам показала, что российский сорт Серебрянка Калистовская был наиболее стабильным – CV = 1,70 %.

Если рассмотреть адаптивность и вариативность по группам спелости, то лучшие результаты показали следующие сорта:

- Golden Star (Англия) – среди раннеспелых;
- Звениговский (Россия) – среди среднеранних;
- Группа 4, Кругляк-Серяк (Украина) – среди среднеспелых.

Таблица 2 – Показатели адаптивности и стабильности сортов коллекции хмеля на третий год жизни /
Table 2 – Indicators of adaptability and stability of hop collection varieties for the third year of life

Название сорта / Name of the variety	Масса сырых шишек хмеля / Mass of raw hop cones						Коэффициент адаптивности* / Coefficient of adaptability*	Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %
	кг/куст / kg/bush			% к среднему значению урожай- ности по всем сортам / % to the average yield value for all varieties				
	1989 г.	2004 г.	2018 г.	1989 г.	2004 г.	2018 г.		
Раннеспелые / Early-ripening								
Подвязный - ст. / Podvyaznyj - st.	3,5	4,0	3,0	205,9	222,2	166,7	1,23	20,20
Golden Star	4,4	4,0	5,2	258,8	222,2	289,9	1,58	18,45
Среднеранние / Mid-early								
Звениговский / Zvenigovskij	4,0	3,5	6,6	235,3	194,4	367,6	1,72	43,41
Среднеспелые /Mid-ripening								
Серебрянка Калистовская / Serebryanka Kalistovskaya	4,4	3,9	4,0	165,5	144,4	129,7	1,47	6,45
Гуслицкий / Guslitskij	3,2	5,6	3,8	120,4	207,4	123,2	1,50	29,74
Кругляк-Серяк / Kruglyak-Seryak	4,4	4,2	4,0	165,5	155,6	129,7	1,76	4,46
Группа 4 / Group 4	3,4	5,1	4,1	127,9	188,9	132,9	1,50	20,34
Среднее / Average	1,7	1,8	1,8	-				

* Рассчитан для сортообразцов разных групп спелости в сравнении с единым стандартом – сортом Подвязный /

* Calculated for cultivars of different ripeness groups in comparison with a single standard – the Podvyazny variety

Таблица 3 – Показатели адаптивности и стабильности сортов коллекции хмеля на четвертый год жизни /
Table 3 – Indicators of adaptability and stability of hop collection varieties for the fourth year of life

Название сорта / Name of the variety	Масса сырых шишек хмеля / Mass of raw hop cones						Коэффициент адаптивности* / Coefficient of adaptability*	Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %
	кг/куст / kg/bush			% к среднему значению урожай- ности по всем сортам / % to the average yield value for all varieties				
	1990 г.	2005 г.	2019 г.	1990 г.	2005 г.	2019 г.		
Раннеспелые / Early-ripening								
Подвязный - ст. / Podvyaznyj – st.	3,5	3,8	4,2	159,1	200,0	221,1	1,23	7,07
Golden Star	4,3	3,5	5,1	195,5	184,2	268,4	1,37	18,60
Среднеранние / Mid-early								
Звениговский / Zvenigovskij	3,6	3,1	4,5	163,6	163,2	236,8	1,16	26,05
Среднеспелые / Mid-ripening								
Серебрянка Калистовская / Serebryanka Kalistovskaya	4,0	4,2	4,1	181,8	221,1	215,8	1,28	1,70
Гуслицкий / Guslitskij	3,7	3,9	4,1	168,2	205,3	215,8	1,23	3,54
Кругляк-Серяк / Kruglyak-Seryak	4,0	5,2	4,3	181,8	273,7	226,3	1,44	13,88
Группа 4 / Group 4	5,0	6,7	4,8	227,3	352,6	252,6	1,80	23,37
Среднее / Average	2,2	1,9	3,6	-				

Коэффициент адаптивности по сортам, превышающим стандарт Подвязный по группам спелости на пятый год жизни, представлен в таблице 4. Наилучший результат адаптивности можно выделить в среднеспелой группе –

Группа 4, Гуслицкий, Кругляк-Серяк. При этом сортообразец Группа 4 имел самый высокий коэффициент вариации – 50,61, что характеризует его как значительно зависящий от изменений агроклиматических условий.

Таблица 4 – Показатели адаптивности и стабильности сортов коллекции хмеля на пятый год жизни /
Table 4 – Indicators of adaptability and stability of hop collection varieties for the fifth year of life

Название сорта / Name of the variety	Масса сырых шишек хмеля / Mass of raw hop cones						Коэффициент адаптивности* / Coefficient of adaptability*	Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %
	кг/куст / kg/bush			% к среднему значению урожайно- сти по всем сортам / % to the average yield value for all varieties				
	1991 г.	2006 г.	2020 г.	1991 г.	2006 г.	2020 г.		
Раннеспелые / Early-ripening								
Подвязный - см. / Podvaznyj - st.	4,2	4,2	3,5	144,8	144,8	140,0	1,15	10,90
Golden Star	4,4	2,0	2,0	151,7	68,9	80,0	1,03	32,77
Среднеранние / Mid-early								
Звениговский / Zvenigovskij	3,2	2,0	2,5	110,3	68,9	100,-	1,07	23,48
Среднеспелые / Mid-ripening								
Серебрянка Калистовская / Serebryanka Kalistovskaya	3,2	2,5	2,5	110,3	86,2	100,0	1,17	58,82
Гуслицкий / Guslitskij	3,3	3,5	3,6	113,8	120,7	144,0	1,26	22,88
Кругляк-Серяк / Kruglyak-Seryak	2,9	2,5	2,6	100,0	86,2	104,0	1,18	49,11
Группа 4 / Group 4	2,5	3,0	2,5	86,2	103,4	100,0	1,31	50,61
Среднее / Average	2,9	2,9	2,5	-				

Таким образом, исходя из исследований за 9 лет в трёх закладках хмеля, можно подвести итог, что сортообразец Группа 4 наиболее адаптивен к условиям северной части Чувашской Республики. Также положительно показал себя сорт Кругляк-Серяк. При этом в отдельные годы данные сорта имели достаточно высокий коэффициент вариации, что говорит о неоднородности изучаемых за трёхлетний период показателей. Из раннеспелых за два периода из трех лучше стандарта показал себя сорт Golden Star.

Качественный состав шишек хмеля разнообразен. Биохимический состав шишек зависит, в первую очередь, от сорта, затем от ареала произрастания, погодных условий вегетационного периода, сроков уборки и послеуборочной переработки. Существует три типа хмеля: ароматические, промежуточные (горько-ароматические) и горькие сорта.

Ароматические сорта содержат альфа-кислот до 5 %, общих смол 12-15 %. Их аромат достаточно нежный и тонкий. Горько-ароматические сорта хмеля совмещают в себе высокое содержание горьких веществ и эфирных масел. Содержание альфа-кислот в них колеблется от 6 до 10 %, эфирных масел – от 0,4 до 2,5 %. Сорта хмеля этого типа более эффективно используются в массовом пивоварении. Высокосмолистые (горькие) сорта уступают по качеству ароматическим и используются в основном для приготовления различных экстрактов. Горькие сорта содержат до 28 % общих горьких веществ, в т. ч. альфа-кислот более 10 % [3].

Ароматических сортов с содержанием альфа-кислот до 4,0 % в коллекционном питомнике 74 (29,8 %), из них: раннеспелых – 17, среднеранних – 12, среднеспелых – 41, среднепоздних – 1, позднеспелых – 3. Сорта

с содержанием альфа-кислот более 6,1 % – 56 (22,6 %): в раннеспелой группе – 1, в среднеранней – 3, среднеспелой – 8, среднепоздней – 10, позднепоздней – 34.

Из разных групп спелости 57 сортов коллекционного питомника относятся к горько-ароматическому типу. Отмечено, что чем длиннее вегетационный период, тем больше содержание альфа-кислот в шишках хмеля. Сорта с вегетационным периодом более 120 дней содержат наибольшее количество таких кислот. Стабильно высокое содержание альфа-кислот имеют сорта: среднеранние российские – Подвязный, Дружный и Флагман, среднеспелые – российский Сумерь, английский Saxop, датский Nordgaard 978, украинский Сполэчны и другие. Среди среднепоздних сортов выделились российский Лупулиновый, немецкий Tettnanger, польские сорта: Izabella, Marynka и другие. Из позднепоздних – Аванс, Заклад, Советский, Кумир (Украина), Northern Brewer, Hallertau Magnum, Braustern (Германия), Wye Challenger, Northern Brewer, Target [1], OZ-79 (Англия), Atlas (Югославия), Galena, Американский (США).

По комплексу хозяйственно ценных признаков и устойчивости к ложной мучнистой росе выделены 19 сортообразцов, или 7,6 %. Они слабо или очень слабо поражались этим заболеванием. Среди них среднеранний сорт Подвязный; пять среднеспелых сортов: Сумерь, Флагман, Ротер Аушер, Украинский 38,

Сполэчны; четыре среднепоздних: Marynka, Izabella, Клон PCU-280, KlonP/K1; девять позднепоздних: английские – Prolific, OR-55, BrewersGoldCa, украинский сорт Советский, немецкий Hallertau Magnum, югославский Atlas, бельгийский Eurhop, японский K 692266, неизвестного происхождения Frisku.

Заключение. В Чувашском НИИСХ изучается единственная в России мировая коллекция хмеля из 248 сортов. По результатам исследований в течение 2018-2020 гг. для дальнейшей селекционной работы выделено: 60 высокоурожайных сортов, 74 – ароматических, 57 – горьких сортов, 19 сортов с комплексом хозяйственно ценных признаков.

Оценка адаптивности коллекционных сортов хмеля к природно-климатическим условиям северной части Чувашской Республики на третьем, четвертом и пятом годах жизни насаждений выявила 6 сортов, которые по коэффициентам адаптивности превысили в отдельные годы жизни контрольный сорт Подвязный: раннеспелый Golden Star, среднеранний Звениговский, среднеспелые Серебрянка Калистовская, Гуслицкий, Кругляк-Серяк, Группа 4. Из них наиболее стабильно высокие результаты показали Группа 4, Гуслицкий и Кругляк-Серяк. Выделенные особенности анализируемых образцов можно использовать при выведении сортов, устойчивых к агроклиматическим условиям северной части Чувашии и других регионов хмелеводства России.

Список литературы

1. Данилова Е. С., Данилова Ю. С., Никонова З. А. Мониторинг хозяйственно ценных признаков коллекции отечественных и зарубежных сортов хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2011;25(6):18-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17039040>
2. Фадеев А. А., Никонова З. А. Результаты изучения сортообразцов хмеля разных групп спелости по хозяйственно важным признакам и устойчивости к основным болезням. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;(5):29-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113600>
3. Годованый А. А., Ляшенко Н. И., Рейтман И. Г., Ежов И. С. Хмель и его использование: монография. Киев: Урожай, 1990. С. 64-112. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001574907>
4. Donner P., Pokorný J., Ježek J., Krofta K., Patzak J., Pulkrábek J. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. Plant Soil Environ. 2020;66(1):41-46. DOI: <https://doi.org/10.17221/627/2019-PSE>
5. Сапега В. А. Оценка сортов ярового ячменя по урожайности, экологической пластичности и адаптивности. Аграрная Россия. 2018(1):3-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30791867>
6. Казарин В. Ф., Казарина А. В., Марунова Л. К. Урожайность и параметры адаптивности донника белого однолетнего (*Melilotus albus* Medik) в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018;20(2-4(82)):712-716. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37313265>
7. Созонова А. Н., Иваненко А. С. Оценка сортов сои по урожайности и параметрам адаптивности в лесостепи Тюменской области. Пермский аграрный вестник. 2019;(1(25)):75-80. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38215148>
8. Игнатьев С. А., Регидин А. А. Оценка параметров адаптивности коллекционных образцов эспарцета. Зерновое хозяйство России. 2019;(3):53-58. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-63-3-53-58>

9. Васильев А. А., Гасымов Ф. М., Глаз Н. В. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов груши в условиях Челябинской области. АПК России. 2019;26(3):333-337.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39538310>
10. Новикова Л. Ю. Информационная система для оценки адаптивности сортов винограда к изменению климата. Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019;24:67-73. DOI: <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-24-67-73>
11. Фадеев А. А., Никонова З. А. Оценка сортообразцов коллекции хмеля обыкновенного по фенологическим и морфологическим признакам. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018;(2):40-42.
12. Милоста Г. М., Регилевич А. А. Сравнительная оценка продуктивности ароматических сортов хмеля в Беларуси. Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. научн. тр. Гродно: Гродненский ГАУ, 2016. Т. 32. С. 130-137. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27346814>
13. Данилова Ю. С., Крофта К., Рыжова Т. П. Отбор на экологическую устойчивость в селекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2010;(4):4-9.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15266692>
14. Осипова Ю. С., Иванова И. Ю., Леонтьева В. В. Оценка экологической устойчивости сортообразцов хмеля обыкновенного. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020;50(1):32-39.
DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-4>
15. Штанько І. П. Оцінка адаптивних ознак сортів та номерів хмелю. Вісник аграрної науки. 2019;97(7):53-59. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201907-08>

References

1. Danilova E. S., Danilova Yu. S., Nikonova Z. A. *Monitoring khozyaystvenno tsennykh priznakov kollektsii otechestvennykh i zarubezhnykh sortov khmelya obyknovennogo (Humulus lupulus L.)*. [An estimation of the main economic characteristics of hop (*Humulus lupulus* L.) cultivar collection]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2011;25(6):18-22. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17039040>
2. Fadeev A. A., Nikonova Z. A. *Rezultaty izucheniya sortoobraztsov khmelya raznykh grupp spelosti po khozyaystvenno vazhnym priznakam i ustoychivosti k osnovnym boleznyam*. [The results of study of hop varieties of different ripeness groups for important economic traits and resistance to major diseases]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;(5):29-33. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113600>
3. Godovany A. A., Lyashenko N. I., Reytman I. G., Ezhov I. S. *Khmel' i ego ispol'zovanie: monografiya*. [Hop and its use: monograph]. Kiev: Urozhay, 1990. pp. 64-112. URL: <https://search.rsl.ru/record/01001574907>
4. Donner P., Pokorný J., Ježek J., Krofta K., Patzak J., Pulkrábek J. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. *Plant Soil Environ*. 2020;66(1):41-46. DOI: <https://doi.org/10.17221/627/2019-PSE>
5. Sapega V. A. *Otsenka sortov yarovogo yachmenya po urozhaynosti, ekologicheskoy plastichnosti i adaptivnosti*. [Assessment productivity, ecological plasticity and adaptability of spring barley varieties]. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2018(1):3-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30791867>
6. Kazarin V. F., Kazarina A. V., Marunova L. K. *Urozhaynost' i parametry adaptivnosti donnika belogo odnoletnego (Melilotus albus Medik) v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya*. [Yield and parameters of adaptability of a monolot of the white one-year (*Melilotus albus* Medik) in the conditions of forest-steppe of middle Volga region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-4(82)):712-716. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37313265>
7. Sozonova A. N., Ivanenko A. S. *Otsenka sortov soi po urozhaynosti i parametram adaptivnosti v lesostepi Tyumenskoy oblasti*. [Evaluation of productivity and adaptability of soybean varieties in the forest-steppe of the Tyumen region]. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2019;(1(25)):75-80. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38215148>
8. Ignat'ev S. A., Regidin A. A. *Otsenka parametrov adaptivnosti kollektsionnykh obraztsov espartseta*. [The estimation of adaptability parameters of the collection samples of sainfoin]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(3):53-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-63-3-53-58>
9. Vasil'ev A. A., Gasymov F. M., Glaz N. V. *Otsenka ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortov grushi v usloviyakh Chelyabinskoy oblasti*. [Assessment of ecological plasticity and stability of pear varieties in the climate of Chelyabinsk region]. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2019;26(3):333-337. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39538310>
10. Novikova L. Yu. *Informatsionnaya sistema dlya otsenki adaptivnosti sortov vinograda k izmeneniyu klimata*. [Information system for assessing the adaptability of grape varieties to climate change]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*. 2019;24:67-73. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-24-67-73>

11. Fadeev A. A., Nikonova Z. A. *Otsenka sortoobraztsov kolektsii khmelya obyknovennogo po fenologicheskim i morfologicheskim priznakam*. [Evaluation of the common hop variety samples according to the phenological and morphological features]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2018;(2):40-42. (In Russ.).

12. Milosta G. M., Regilevich A. A. *Sravnitel'naya otsenka produktivnosti aromatischeskikh sortov khmelya v Belarusi*. [Relative assessment of efficiency aromatic hop varieties in Belarus]. *Sel'skoe khozyaystvo – problemy i perspektivy: sb. nauchn. tr.* [Agriculture – problems and prospects: collection of scientific papers]. Grodno: Grodnenskiy GAU, 2016. Vol. 32. pp. 130-137. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27346837&pf=1>

13. Danilova Yu. S., Krofta K., Ryzhova T. P. *Otbor na ekologicheskuyu ustoychivost' v selektsii khmelya obyknovennogo (Humulus lupulus L.)*. [Persistence selection in hops (*Humulus lupulus* L.) varieties development]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2010;(4):4-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15266692>

14. Osipova Yu. S., Ivanova I. Yu., Leontieva V. V. *Otsenka ekologicheskoy ustoychivosti sortoobraztsov khmelya obyknovennogo*. [Evaluation of ecological stability of common hop varieties]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2020;50(1):32-39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-4>

15. Shtan'ko I. P. *Otsinka adaptivnykh oznak sortiv ta nomeriv khmeliyu*. [Assessment of adaptive attributes of varieties and numbers of hop plant]. *Visnik agrarnoi nauki*. 2019;97(7):53-59. (In Ukraine). DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201907-08>

Сведения об авторах

Осипова Юлия Сергеевна, младший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9746-6864>

✉ **Леонтьева Валентина Вячеславовна**, научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9213-9821>, e-mail: shkoda.6363@mail.ru

Дементьев Дмитрий Алексеевич кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>

Information about the authors

Yulia S. Osipova, junior researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture-Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9746-6864>

✉ **Valentina V. Leontieva**, researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture - Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9213-9821>, e-mail: shkoda.6363@mail.ru

Dmitrii A. Dementiev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture - Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.203-210>
УДК 633.853.52:631.527:551.5:631.559



Перспективные селекционные линии сои северного экотипа для создания сортов кормового назначения

© 2022. А. А. Фадеев, М. Ф. Фадеева, И. И. Никифорова, И. Ю. Иванова[✉]
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье приводятся результаты сравнительной оценки селекционных линий сои северного экотипа с целью выделения наиболее перспективных для создания сортов кормового назначения, пригодных к возделыванию в смешанных посевах. Исследования проводили в 2018-2021 гг. в условиях Чувашской Республики на серой лесной тяжелосуглинистой почве. Испытывали четыре линии сои в сравнении с сортом-стандартом СибНИИК 315, рекомендованным для возделывания в Волго-Вятском регионе. Посевы оценивали по динамике накопления надземной биомассы в фазы «образование бобов» и «налив бобов». По результатам 4-летнего периода наблюдений установлены корреляционные взаимосвязи продуктивности линий сои северного экотипа с погодными факторами. Выявлено, что урожайность надземной массы в период образования и налива бобов зависела в большей степени от атмосферных осадков ($r = -0,49 \dots -0,86$). Установлено, что селекционные линии № 314 и № 320 среднераннего и среднеспелого сроков созревания обладали достаточно высокой продуктивностью. Урожайность зеленой массы в одновидовых посевах достигала 39,7 т/га у линии № 314 и 36,7 т/га – № 320, что превысило сорт-стандарт в 1,5 раза. Выделившиеся линии заслуживают внимания и по архитектонике куста – сравнительно высокие (90-91 см), облиственные (46-44 %), ветвистые, нутирующие растения.

Ключевые слова: урожайность надземной массы, структура урожайности, погодные условия, корреляционные связи

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0097).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фадеев А. А., Фадеева М. Ф., Никифорова И. И., Иванова И. Ю. Перспективные селекционные линии сои северного экотипа для создания сортов кормового назначения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):203-210. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.203-210>

Поступила: 05.01.2022

Принята к публикации: 18.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Promising soybean breeding lines of the northern ecotype for developing forage crops

© 2022. Andrey A. Fadeev, Margarita F. Fadeeva, Inna I. Nikiforova, Inga Y. Ivanova[✉]

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

The article presents the results of comparative assessment of soybean breeding lines of the northern ecotype for selection of the most promising ones for developing forage varieties suited for cultivation in mixed crops. The studies were carried out in 2018-2021 in the conditions of the Chuvash Republic on gray forest heavy loamy soil. The experiment included four soybean lines in comparison with the SibNIIC 315 standard recommended for growing in the Volga-Vyatka region. The crops were evaluated according to the dynamics of accumulation of aboveground biomass during the phases of formation and filling of beans. Based on the results of a 4-year observation period, correlations between the productivity of soybean lines of the northern ecotype with weather factors have been established. It has been revealed that the yield of aboveground mass during the phases of formation and filling of beans depended mostly on atmospheric precipitation ($r = -0,49 \dots -0,86$). It has been established, that breeding lines No. 314 and No. 320 of middle early and mid-season ripening period had rather high productivity. The yield of green mass in single-crop sowings was 39.7 t/ha in line No. 314 and 36.7 t/ha in line No. 320 that 1.5 times exceeded the standard variety. The selected lines are worth noting and according to bush architectonics are rather high (90-91 cm), foliate (46-44 %), branched, nutate plants.

Keywords: productivity of the aboveground mass, yield structure, weather conditions, correlations

Acknowledgements: the work was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0097).

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

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

For citations: Fadeev A. A., Fadeeva M. F., Nikiforova I. I., Ivanova I. Y. Promising soybean breeding lines of the northern ecotype for developing forage crops. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):203-210. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.203-210>

Received: 05.01.2022

Accepted for publication: 18.03.2022

Published online: 20.04.2022

Для создания продуктивных и высокоустойчивых кормовых агроценозов и более полного использования биологических факторов все большее применение находят смешанные посевы. Смешанные агрофитоценозы – это перспективное направление интенсификации растениеводческой отрасли, связанное с наиболее полным и эффективным использованием биоклиматического потенциала конкретного поля [1, 2, 3, 4]. Смеси благодаря возможности регулирования норм высева и подбору компонентов дают запланированное качество корма в поле без дорогостоящего использования кормосмесителей и кормоцехов [5, 6, 7]. Проведенными ранее исследованиями показана перспективность смешанных посевов злаковых культур с кукурузой или соей в основных районах их распространения [8, 9, 10]. Благодаря удачной биологической совместности этих культур возрастает урожайность, сбор питательных веществ, особенно наблюдается превосходство по содержанию переваримого протеина в сравнении с чистыми посевами злаковых культур. Соя по своим биологическим свойствам близка к таким теплолюбивым злаковым культурам, как кукуруза, суданская трава, сорго и является лучшим компонентом для смешанного агрофитоценоза [11, 12].

Соя – уникальная зернобобовая культура по биохимическому составу семян и, прежде всего, высокому содержанию белка, полноценному по аминокислотному составу. В качестве корма используются все части этого растения: зеленые листья и стебли, солома, зерно и его отходы в виде концентрированного корма (мука, шрот, жмых, молоко, экструдированная соя) [7].

В южных регионах сою возделывают в смешанных посевах со злаковыми культурами, в частности с кукурузой, для получения сбалансированного по белку корма. Для совместных посевов сои с кукурузой на зеленый корм и силос нужно подбирать сорта сои с максимально возможным развитием вегетативной массы, позволяющие достигнуть наивысшей урожайности в конкретных условиях возделывания [3, 13].

Для продвижения сои в северные районы необходимы новые сорта, соответствующие меняющимся экологическим условиям. Поэтому выведение раннеспелого сорта северного экотипа, адаптированного к условиям длинного дня с высокой урожайностью надземной массы

для возделывания в смеси с кукурузой, является актуальной темой в решении проблемы получения высококачественных сбалансированных кормов в северных регионах.

Цель исследований – провести сравнительную оценку селекционных линий сои северного экотипа и выделить перспективные со слабой реакцией на фотопериод, индетерминантные с признаками нутирования, формирующие высокую урожайность надземной массы, для создания сортов кормового назначения, пригодных к возделыванию в смешанных посевах.

Новизна исследования – впервые в условиях 56° с. ш. выделены селекционные линии сои среднераннего и среднеспелого сроков созревания, пригодные по архитектонике куста и продуктивности надземной биомассы для создания сортов кормового назначения.

Материал и методы. Объект исследований – четыре линии сои (F6-F7), созданные в Чувашском НИИСХ – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Полевые опыты проводили в поле № 9 кормового севооборота Чувашского НИИСХ на серых лесных тяжелосуглинистых почвах: кислотность – $pH_{\text{сол}}$ 5,5, гумус – 5,8 %, подвижный фосфор – 173 мг/кг, калий – 111 мг/кг. Основная обработка почвы осенью – вспашка плугом, весной – закрытие влаги и предпосевная культивация на глубину заделки семян. Рельеф участка под опытом – ровный. Посев проводили сеялкой точного высева широкорядным способом в оптимальные для сои сроки сева с нормой 450 тыс. всхожих семян на гектар.

Полевые опыты закладывали по методике Б. А. Доспехова¹. Ширина междурядий 50 см, ширина дорожки между деланками равнялась 50 см для снятия краевого эффекта. Площадь деланки – 24 м², повторность трехкратная. На каждой деланке выделяли учетные площади 1 м² для фенологических наблюдений и биометрического анализа снопа. Стандартом служил сорт сои СибНИИК 315, рекомендованный для возделывания в Волго-Вятском регионе.

Лучшие растения для дальнейшего изучения отбирали в фазе «полная спелость семян» с учетом результатов биометрического анализа снопа. Исследования проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур² и методическими указаниями по селекции сои [14, 15].

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1985. Вып. 1, 2. 267 с.

Погодные условия в годы исследований отличались температурным режимом и количеством осадков в течение вегетационного периода. По условиям увлажнения 2018 год классифицирован как засушливый (ГТК = 0,68), 2019 и 2020 годы были умеренно теплыми с недостатком влаги в начале вегетационного периода растений и высокой доступностью влаги в фазе созревания урожая: ГТК составил 1,09 и 1,1 соответственно. Острозасушливыми условиями характеризовался 2021 год в периоды развития вегетативных и формирования генеративных органов растений сои (ГТК = 0,77). Сумма активных температур ($\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$)

в 2018 году составила 1782 $^{\circ}\text{C}$, в 2019 – 2303 $^{\circ}\text{C}$, в 2020 – 2160 $^{\circ}\text{C}$, в 2021 году – 2560 $^{\circ}\text{C}$ [16].

Результаты и их обсуждение. При создании сортов сои кормового направления важнейшим требованием является сравнительная высокорослость растений, компактность ветвления, высокое прикрепление нижних ветвей, устойчивость к полеганию и обламыванию ветвей [3, 17]. Среди испытываемых образцов выделены по группе спелости среднеранние (№ 29 и 314) и среднеспелые (№ 204 и 320), они имели индетерминантный тип роста с полураскидистой формой куста (табл. 1).

*Таблица 1 – Характеристика перспективных селекционных линий сои северного экотипа /
Table 1 – Characteristics of promising soybean breeding lines of the northern ecotype*

Линия / Line	Группа спелости / Ripeness Group	Тип и форма роста / Type and form of growth	Высота, см / Height, cm		Число, шт. / Number, pcs.	
			растения / plants	прикрепления нижнего боба / attaching the bottom bean	ветвлений / branching	продуктивных узлов на главном стебле / productive nodes on the main stem
СибНИИК 315, ст. / SibNIİK 315, st	Ранняя / Early	Полудетерминантный / Semi-determinant Полураскидистый / Semi-spreading Вьется слабо / Curls weakly	53	12,8	1,6	8,1
№ 29	Средне- ранняя / Medium-early	Индетерминантный / Indeterminate Полупрямостоячий / Semi-upright Вьется хорошо / Curls well	76	17,9	2,0	8,4
№ 204	Средняя / Mid-season	Индетерминантный / Indeterminate Полураскидистый / Semi-spreading Вьется средне / Curls average	83	14,0	1,4	8,5
№ 314	Средне- ранняя / Medium-early	Индетерминантный / Indeterminate Полураскидистый / Semi-spreading Вьется хорошо / Curls well	90	21,1	1,1	7,2
№ 320	Средняя / Mid-season	Индетерминантный / Indeterminate Полураскидистый / Semi-spreading Вьется хорошо / Curls well	91	21,6	1,3	8,1

По высоте растений все линии превысили стандартный сорт. Признак нутирования был характерен в той или иной степени всем селекционным линиям. По высоте прикрепления нижнего боба все изучаемые

образцы превышали стандартный сорт, наиболее высокое прикрепление отмечено у линий № 320 и № 314 (21,6; 21,1 см соответственно). По степени формирования дополнительных ветвей и числу продуктив-

ных узлов на главном стебле существенных различий со стандартом не наблюдалось.

Результаты исследований за 4 года показали, что наибольший урожай зеленой массы у испытуемых образцов собран в фазе «образование бобов» – 28,5 т/га против 23,6 т/га при уборке в фазе «налив бобов».

В формировании урожая надземной массы сои немаловажную роль играют сложившиеся погодные условия по обеспеченности теплом и влагой, последняя играет основную роль [13, 18].

Лучшие показатели по формированию надземной биомассы отмечены в 2018 и 2020 годах, когда средняя урожайность по вариантам при первом учете составила 33,7 и 33,8 т/га, при втором – 34,7 и 27,4 соответственно. Резкое снижение урожая во всех вариантах отмечено в острозасушливом 2021 году: 15,0 т/га в фазе «образование бобов» и 6,8 т/га в фазе «налив бобов». Все селекционные линии по динамике накопления надземной массы за все годы проведения опытов показали превышение над стандартным сортом (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность зеленой массы перспективных линий сои по фазам роста и развития, т/га /
Table 2 – Yield of green mass of promising soybean lines by the phases of growth and development, t/ha

<i>Линия / Line</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2019 г.</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>	<i>Среднее / average</i>	<i>± к стандарту / ± to standard</i>
<i>Фаза «образование бобов» / Bean formation phase</i>						
СибНИИК 315, ст. / SibNIİK 315, st.	26,9	20,7	21,4	12,5	20,4	-
№ 29	34,1	28,7	26,9	16,0	26,4	6,0
№ 204	24,2	28,0	36,9	13,9	25,8	5,4
№ 314	39,7	28,8	37,9	13,8	31,8	11,4
№ 320	36,7	32,5	33,7	16,3	29,8	9,4
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	1,1	1,3	0,6	-	-
<i>Фаза «налив бобов» / The bean filling phase</i>						
СибНИИК 315, ст. / SibNIİK 315, st.	20,1	7,3	12,3	4,4	11,0	-
№ 29	35,9	24,2	21,1	5,3	21,6	10,6
№ 204	33,7	27,6	31,4	6,5	24,8	13,8
№ 314	32,6	26,5	28,6	6,6	23,6	12,6
№ 320	36,2	23,4	28,6	8,7	24,2	13,2
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,8	1,01	0,31	-	-

Сбор сухих веществ в среднем по селекционным линиям при уборке сои в фазу «полное цветение» и «образование бобов» в 2018, 2019 и 2020 годы был на одном уровне (8,5-8,6 т/га). По выходу сухих веществ в фазе «налив бобов» явное преимущество имел 2020 год (среднее по испытуемым вариантам 13,2 т/га, среднее по годам 8,8 т/га). Выделялась раннеспелая линия № 29 – сбор сухого вещества составил 15,7 т/га (табл. 3).

Показатели сбора зеленой биомассы и сухого вещества самыми низкими за все годы исследований были в засушливом 2021 году. Сбор надземной массы в сухом виде в фазе «образование бобов» составил 4,4 т/га среднее по вариантам, в фазе «налив бобов» – 3,1 т/га, т. е. в 2 раза ниже по сравнению с предыдущими годами.

Самый высокий показатель по продуктивности в этот неблагоприятный год при ранней уборке имела линия № 320 – 4,9 т/га вместо 3,7 т/га у сорта-стандарта, аналогичные результаты получены и при уборке в фазе «налив бобов» – 4,0 и 2,0 т/га соответственно.

В среднем за все годы исследований по урожайности надземной массы выделялись линии №314 и 320 в фазе «образование бобов», при уборке в более поздние сроки – линии № 204 и 320. При уборке в фазе «налив бобов» значение коэффициента вариации у испытуемых линий менее 33 %, что указывает на однородность исследований совокупности. При более ранней уборке размах варьирования у селекционных линий имел повышенные показатели, и коэффициенты вариации превышали показатель сорта-стандарта.

Таблица 3 – Сбор сухого вещества сои по фазам роста и развития, т/га /

Table 3 – Collection of dry matter of soybean by the phases of growth and development, t/ha

Линия / Line	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее / Average	Размах варьирования (min - max), т/га / Variation range (min - max), t/ha	Стрессо- устойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$), т/га / Stress Resistance ($Y_{\min} - Y_{\max}$), t/ha	CV, %
<i>Фаза «образование бобов» / Bean formation phase</i>								
СибНИИК 315, ст. / SibNIK 315, st.	6,4	6,2	5,6	3,7	5,5	3,7-6,4	-2,7	15,9
№ 29	8,1	8,7	6,8	4,6	7,1	4,6-8,7	-4,1	28,2
№ 204	8,2	7,8	9,2	4,0	7,3	4,0-9,2	-5,2	45,2
№ 314	9,7	8,1	9,5	4,2	7,9	4,2-9,7	-5,5	46,2
№ 320	8,3	9,7	8,6	4,9	7,9	4,9-9,7	-4,8	37,3
<i>Фаза «налив бобов» / The bean filling phase</i>								
СибНИИК 315, ст. / SibNIK 315, st.	6,3	5,9	9,8	2,0	6,0	2-9,8	-7,8	33,3
№ 29	6,8	14,1	15,7	2,4	9,8	2,4-15,7	-13,3	20,4
№ 204	8,9	8,9	14,1	3,0	8,7	3-14,1	-11,1	23,0
№ 314	10,4	9,6	10,6	3,0	8,4	3-10,6	-7,6	23,8
№ 320	8,9	8,1	12,5	4,0	8,4	4-12,5	-8,5	23,8

В результате корреляционно-регрессивного анализа установлено, что в различные годы виды на урожайность зеленой массы и силоса определяются комплексом факторов,

и влага является определяющим. Об этом свидетельствуют корреляционные связи, установленные для каждого учета (табл. 4).

Таблица 4 – Корреляционная связь осадков и температуры воздуха с урожайностью зеленой массы сои /

Table 4 – Correlation of precipitation and air temperature with the yield of soybean green mass

Линия / Line	Осадки / Precipitation		Сумма активных температур выше 10 °C / The sum of active temperatures is higher 10 °C	
	1-й учет / 1-accounting	2-й учет / 2-accounting	1-й учет / 1-accounting	2-й учет / 2-accounting
СибНИИК 315-ст. / SibNIK 315-st	-0,89	-0,74	-0,10	0,18
№ 29	-0,97	-0,86	-0,29	-0,02
№ 204	-0,71	-0,49	0,27	0,48
№ 314	-0,87	-0,71	-0,04	0,23
№ 320	-0,90	-0,75	-0,10	0,17

В корме самая питательная часть – это листья и продуктивные органы. Грубая часть корма с высоким содержанием клетчатки представлена стеблями [7].

Анализ структуры урожая зеленой массы при уборке в фазе «образование бобов» показал, что содержание листовой массы в корме доходило от 40 до 47 % у испытываемых линий (у сорта-стандарта – 33 %).

Среднеранние селекционные линии (№ 39 и 314) и ранний стандартный сорт выделялись большей долей бобов по сравнению со среднеспелыми образцами (№ 204 и 314) – 39 % против 29 %. Грубая часть растений, представленная стеблями, составляла 22-26 %, при этом отмечено снижение этого показателя у раннеспелых линий (табл. 5).

Таблица 5 – Структура урожая зеленой массы сои в фазе «образование бобов» (среднее за 2018-2020 гг.) /
 Table 5 – Structure of soybean green mass yield in the bean formation phase (average for 2018-2020)

Линия / Line	Доля в общей массе, % / Share in the total mass, %			
	стеблей / stems	листьев и бобов / leaves and beans	в том числе / including	
			листьев / leaves	бобов / beans
СибНИИК 315, ст. / SibNIK 315, st	22	78	33	45
№ 29	23	77	40	37
№ 204	25	75	47	28
№ 314	23	77	46	31
№ 320	26	74	44	30

Заклучение. По результатам испытаний за 4 года установлено, что селекционные линии сои северного экотипа № 314 и 320 выделились по формированию надземной биомассы и по другим хозяйственно ценным признакам: сбор сухого вещества превысил стандартный сорт на 43 % в фазе «формирование бобов» и 40 % в фазе «налив бобов».

Выделившиеся линии заслуживают внимания и по архитектонике куста – сравнительно высокие, облиственные, ветвистые, нутирующие растения. Эти линии целесообразно использовать для создания полноценных сортов сои, которые подходят для возделывания в смешанных посевах.

Список литературы

1. Рущая В. И., Сорокин А. Е., Исаева Е. И. Усиление биологического фактора в смешанных ценозах посредством использования люпина. Адаптивное кормопроизводство. 2019;(3):48-54. DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-3-48-54>
2. Дронов А. В., Симонов В. Ю. Эффективность создания совместных посевов кормового сорго на юго-западе Российского Нечерноземья. Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта: мат-лы Междунар. науч. экологической конф. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2016. С. 34-37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25901406&>
3. Головина Е. В., Зотиков В. И. Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ: монография. Орел: ООО полиграфическая фирма «Картуш», 2019. 320 с.
4. Бельшикина М. Е. Соя – источник полноценного растительного белка в кормопроизводстве. Доклады ТСХА: мат-лы Междунар. науч. конф., посвященной 175-летию К. А. Тимирязева. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2019. С. 584-589.
5. Доева А. Т., Дзугаева Л. А., Фарниева О. Р. Бобовые культуры в полевом кормопроизводстве. Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. в честь 90-летия кафедр кормление, разведение и генетика сельскохозяйственных животных и частная зоотехния факультета технологического менеджмента. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2021. С. 23-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45772531>
6. Кислицына А. А. Полосные посевы – эффективное направление в кормопроизводстве. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2018;(3):3-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32768930>
7. Авраменко А. А., Наумова Т. В., Павлова О. В. Оценка продуктивности и питательности смешанных посевов сои с однолетними злаковыми культурами в условиях Приморского края. Вестник КрасГАУ. 2020;(6):56-61. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-56-61>
8. Абасов Ш. М., Шишхаев И. Я., Абасов М. Ш., Магамадгазиева З. Б. Совместные посевы полевых культур, обеспечивающие устойчивое производство высококачественных кормов. Тенденции развития науки и образования. 2018;(45-6):54-57. DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-12-2018-138>
9. Фадеева М. Ф., Воробьева Л. В. Совместный посев сои с суданской травой – высокопродуктивный агроценоз. Агроинновации. 2012;(2):16-17. Режим доступа: <http://agro-in.cap.ru/SiteMap.aspx?id=1227044>
10. Фомин В. Н., Миназов И. Р. Совместные посевы кукурузы с бобовыми культурами в республике Татарстан. Достижения науки и техники АПК. 2012;(2):55-57. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17667371>
11. Белоченко И. С. Совмещенные посевы и другие проблемы в развитии агроландшафтов Кубани. Новая наука: Проблемы и перспективы. 2016;(9-1):183-188. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26711446>
12. Семин И. А., Зайцева Г. А., Яськова О. М. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от метеоусловий. Наука и Образование. 2021;4(2):1-6. Режим доступа: <http://www.opusmgau.ru/index.php/see/article/view/3133>
13. Зайцев Н. И., Ревенко В. Ю., Устарханова Э. Г. Влияние погодных факторов на продуктивность перспективных линий сои в зоне неустойчивого увлажнения. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(2(182)):62-69. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69>

14. Mikhailova N., Fadeev A. Features of soybean seed production of the northern ecotype at the first stages. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020;548(7):072002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/7/072002>
15. Зеленцов С. В. Методические основы селекционного процесса у сои и его улучшающие модификации во ВНИИМК (обзор). Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(2(182)):128-143. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-128-143>
16. Ilina S., Ivanova I., Fadeev A. Effectiveness of herbicide treatment on pea crops. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021;839:022030. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022030>
17. Красовская А. В., Веремей Т. М. Сравнительное изучение зернобобовых культур в Западной Сибири. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013;(1):26-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507272>
18. Иванова И. Ю., Фадеев А. А. Влияние погодных условий на урожайность сои в условиях Волго-Вятского региона. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(4):93-98. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11210>

References

1. Ruckaya V. I., Sorokin A. E., Isaeva E. I. *Usilenie biologicheskogo faktora v smeshannykh tsenozakh posredstvom ispol'zovaniya lyupina*. [Strengthening of a biological factor in mixed coenoses by lupin use]. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2019;(3):48-54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-3-48-54>
2. Dronov A. V., Simonov V. Yu. *Effektivnost' sozdaniya sovmestnykh posevov kormovogo sorgo na yugo-zapade Rossiyskogo Nechernozem'ya*. [Efficiency of creating combined mixtures with fodder sorghum in non-chernozem zone of Russia]. *Sovmeshchennyye posevy polevykh kul'tur v sevooborote agrolandshafta: mat-ly Mezhdunar. nauch. ekologicheskoy konf.* [Combined sowing of field crops in the crop rotation of the agricultural landscape: Proceedings of the International Scientific Ecological Conference]. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni I. T. Trubilina, 2016. pp. 34-37. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25901406&>
3. Golovina E. V., Zotikov V. I. *Produktivnyy protsess i adaptivnye reaktsii k abioticheskim faktoram sortov soi severnogo ekotipa v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona RF: monografiya*. [Production process and adaptive reactions to abiotic factors of soybean varieties of the northern ecotype in the conditions of the Central Chernozem region of the Russian Federation: monograph]. Orel: OOO poligraficheskaya firma «Kartush», 2019. 320 p.
4. Belyshkina M. E. *Soya – istochnik polnotsennogo rastitel'nogo belka v kormoproizvodstve*. [Soy is a source of high-grade vegetable protein in feed production]. *Doklady TSKhA: mat-ly Mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoy 175-letiyu K. A. Timiryazeva*. [Reports of the TLC: Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 175th anniversary of K. A. Timiryazev]. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet – MSKhA im. K. A. Timiryazeva, 2019. pp. 584-589.
5. Doeva A. T., Dzugaeva L. A., Farnieva O. R. *Bobovyye kul'tury v polevom kormoproizvodstve*. [Legumes in field fodder production]. *Innovatsionnyye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii: mat-ly Vseros. nauch. prakt. konf. v chest' 90-letiya kafedry kormleniya, razvedeniya i genetiki sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i chastnaya zootekhnika fakul'teta tekhnologicheskogo menedzhmenta*. [Innovative technologies of production and processing of agricultural products: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference in honor of the 90th anniversary of the Departments of Feeding, Breeding and Genetics of Farm Animals and Small Animal Science of the Faculty of Technological Management]. Vladikavkaz: Gorskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. С. 23-25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45772531>
6. Kislytsyna A. A. *Polosnyye posevy – effektivnoye napravleniye v kormoproizvodstve*. [Strip crops are effective direction in feed production]. *Kormleniye sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2018;(3):3-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32768930>
7. Avramenko A. A., Naumova T. V., Pavlova O. V. *Otsenka produktivnosti i pitatel'nosti smeshannykh posevov soi s odnoletnimi zlakovymi kul'turami v usloviyakh Primorskogo kraya*. [The estimation of productivity and nutrition of mixed soy seeds with annual cereal crops in the conditions of Primorsk region]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(6):56-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-56-61>
8. Abasov Sh. M., Shishkhaev I. Ya., Abasov M. Sh., Magamadgazieva Z. B. *Sovmestnyye posevy polevykh kul'tur, obespechivayushchie ustoychivoe proizvodstvo vysokokachestvennykh kormov*. [Mixed sowings of field crops, ensuring sustainable production of high-quality feed]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2018;(45-6):54-57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/ij-12-2018-138>
9. Fadeeva M. F., Vorobeva L. V. *Sovmestnyy posev soi s sudanskoy travoy – vysokoproduktivnyy agrotsenoz*. [Mixed sowing of soybeans with Sudanese grass is a highly productive agrocenosis]. *Agroinnovatsii*. 2012;(2):16-17. (In Russ.). URL: <http://agro-in.cap.ru/SiteMap.aspx?id=1227044>
10. Fomin V. N., Minazov I. R. *Sovmestnyye posevy kukuruzy s bobovymi kul'turami v respublike Tatarstan*. [Joint crops maize with legumes in the Republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(2):55-57. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17667371>
11. Belyuchenko I. S. *Sovmeshchennyye posevy i drugie problemy v razvitiy agrolandshaftov Kubani*. [Combined crops and other problems in the development of agricultural landscapes of the Kuban]. *Novaya nauka: Problemy i perspektivy*. 2016;(9-1):183-188. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26711446>

12. Semin I. A., Zaytseva G. A., Ryaskova O. M. *Urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zavisimosti ot meteosloviy*. [Productivity of the agricultural cultures depending on meteorological conditions]. *Nauka i Obrazovanie = The Education and Science Journal*. 2021;4(2):1-6. (In Russ.). URL: <http://www.opusmgau.ru/index.php/see/article/view/3133>

13. Zaytsev N. I., Revenko V. Yu., Ustarkhanova E. G. *Vliyanie pogodnykh faktorov na produktivnost' perspektivnykh liniy soi v zone neustoychivogo uvlazhneniya*. [Influence of weather factors on the productivity of perspective soybean lines in the unstable moisture zone]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2020;(2(182)):62-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-62-69>

14. Mikhailova N., Fadeev A. Features of soybean seed production of the northern ecotype at the first stages. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020;548(7):072002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/7/072002>

15. Zelentsov S. V. *Metodicheskie osnovy selektsionnogo protsessa u soi i ego uluchshayushchie modifikatsii vo VNIIMK (obzor)*. [Methodological fundamentals of the breeding process in soybean and its improving modifications at VNIIMK (review)]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2020;(2(182)):128-143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-128-143>

16. Ilina S., Ivanova I., Fadeev A. Effectiveness of herbicide treatment on pea crops. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021;839:022030. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022030>

17. Krasovskaya A. V., Veremey T. M. *Sravnitel'noe izuchenie zernobobovykh kul'tur v Zapadnoy Sibiri*. [The comparative characteristic of leguminous plants in West Siberia]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2013;(1):26-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507272>

18. Ivanova I. Yu., Fadeev A. A. *Vliyanie pogodnykh usloviy na urozhaynost' soi v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona*. [Influence of weather conditions on soybean yield in the Volga-Vyatka region]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2020;(4):93-98. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11210>

Сведения об авторах

Фадеев Андрей Анатольевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

Фадеева Маргарита Филипповна, кандидат с.-х. наук, научный консультант, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1702-3113>

Никифорова Инна Ивановна, младший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательского институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6222-4163>

✉ **Иванова Инга Юрьевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательского институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1721>, e-mail: m35y24@yandex.ru

Information about the authors

Andrey A. Fadeev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvil'sky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

Margarita F. Fadeeva, PhD in Agricultural Science, scientific consultant, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvil'sky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1702-3113>

Inna I. Nikiforova, junior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvil'sky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6222-4163>

✉ **Inga Yu. Ivanova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvil'sky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1721>, e-mail: m35y24@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Люпин узколистый – результаты изучения сортов и сортообразцов по адаптивности и комплексу хозяйственно-биологических признаков

© 2022. П. А. Агеева ✉, Н. А. Почутина, О. М. Громова, Н. М. Зайцева

Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», Брянская обл., Российская Федерация

Важным резервом увеличения производства высокобелковых кормов является возделывание зерновых бобовых культур, в том числе люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.). Цель исследований – выявить перспективные сорта и сортообразцы люпина узколистного по урожайности, адаптивности, продолжительности вегетационного периода и биохимическим показателям в условиях юго-западной зоны Центрального региона России. В конкурсном сортоиспытании (2019–2021 гг.) изучали 6 сортов и 4 сортообразца люпина узколистного селекции Всероссийского НИИ люпина (стандартный сорт Витязь). Опыты заложены на дерново-подзолистых суглинистых почвах со средним уровнем плодородия. Среднесортная урожайность зерна в опыте составила 2,07 т/га, по сорту-стандарту – 1,85 т/га. По урожайности зерна выделились сорта Брянский кормовой, Узколистый 53 и сортообразцы БСв 51-19, УСН 53-236, СБС 56-15. Их зерновая продуктивность варьировала от 2,17 до 2,29 т/га, статистически значимые прибавки к стандарту составили 0,32–0,44 т/га. Максимальная урожайность зерна получена по сортообразцам БСв 51-19 и УСН 53-236 с коэффициентом адаптивности 110 %. Среднесортная урожайность зелёной массы в опыте составила 30,6 т/га, по сорту-стандарту – 27,0 т/га. По урожайности зелёной массы и адаптивности выделились сорт Брянский кормовой и новые перспективные сортообразцы СБС 56-15, УСН 53-236 и БСв 51-19; прибавка к стандарту по урожайности зелёной массы составила 5,0–7,0 т/га, коэффициент адаптивности – 104–110 %. По продолжительности вегетационного периода (80–89 дней) все сорта и сортообразцы вошли в группу раннеспелых. Самым продолжительным вегетационным периодом (89 дней) обладал новый высокорослый сорт Белорозовый 144. По содержанию алкалоидов в зерне (0,031–0,063 %) все сорта и сортообразцы отнесены к малоалкалоидной группе. Стабильностью показателя на низком уровне (0,031–0,039 %) характеризовались сорта Смена, Узколистый 53 и сортообразец СБС 56-15. Содержание сырого протеина в семенах изучаемых сортов и сортообразцов люпина узколистного варьировало в диапазоне 32,0–33,8 %. По комплексу положительных признаков выделились сорт Брянский кормовой, сортообразцы УСН 53-236 и СБС 56-15.

Ключевые слова: селекция люпина, конкурсное сортоиспытание, зерновая и зеленоукосная продуктивность, раннеспелость, сырой протеин, содержание алкалоидов

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса» (тема №0597-2019-0025).

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Агеева П. А., Почутина Н. А., Громова О. М., Зайцева Н. М. Люпин узколистый – 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>

Поступила: 10.02.2022

Принята к публикации: 11.04.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) – the results of varieties and accessions study according to adaptivity and a set of commercial-biological traits

© 2022. Praskovya A. Ageeva ✉, Natalia A. Potchutina, Olga M. Gromova, Natalia M. Zaytseva

All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Bryansk, Russia

Cultivation of grain legumes including blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) is an important reserve for increase of high protein feed production. The aim of the research is to find perspective blue lupin varieties and accessions according to yield, adaptivity, the duration of vegetation period and biochemical indices in south-western area of the Central part of Russia. In 2019–2021 six blue lupin varieties and four accessions developed in the All-Russian Lupin Scientific Research Institute have been tested in competitive variety trial (Vityas was standard variety). The trials were laid on sod-podzolic, loamy soil with the moderate fertility level. The average grain yield of varieties in the trial was 2.07 t/ha, of standard variety – 1.85 t/ha. The varieties Bryansky kormovoy, Uzkolistny 53 and accessions BSv 51-19, USN 53-236 and SBS 56-15 had the highest grain yield. Their grain productivity varied from 2.17 to 2.29 t/ha. Statistically significant increase to the standard was 0.32–0.44 t/ha. The accessions BSv 51-19 and USN 53-236 had the maximum grain yield by adaptivity coefficient of 110%.

According to the green mass yield and adaptivity Bryansky kormovoy and new promising accessions SBS 56-15, USN 53-236 and BSv 51-19 have been noted: the increase to the standard according to the green mass yield was 5.0-7.0 t/ha, the adaptivity coefficient was 104-110%. By the duration of vegetation period (80-89 days) all varieties and accessions were included into the group of early-ripening. The new tall variety Belorozovy 144 had the longest vegetation period (89 days). According to the alkaloid content in the grain (0.031-0.063 %) all tested varieties and accessions were included into the low-alkaloid group. The varieties Smena, Uzkolistny 53 and the accession SBS 56-15 were characterized by stable low index (0.031-0.039 %). The content of raw protein in the seeds of tested varieties and accessions of blue lupin varied in the range of 32.0-33.8%. According to the set of positive traits, Bryansky kormovoy variety and accessions USN 53-236 and SBS 56-15 have been noted.

Keywords: lupin breeding, competitive variety trial, grain and green mass productivity, early ripeness, row protein, alkaloid content

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 Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (theme No. 0597-2019-0025).

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 citations: 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 commercial-biological 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>

Received: 10.02.2022

Accepted for publication: 11.04.2022

Published online: 20.04.2022

Люпин узколистый (*Lupinus angustifolius* L.) – холодостойкая, скороспелая бобовая культура, востребованная как источник растительного белка с высокой биологической ценностью в кормах животных. Средообразующая роль люпина в адаптивном земледелии обусловлена способностью формировать эффективный симбиоз с клубеньковыми бактериями, что позволяет повысить продуктивность последующих культур в севообороте, значительно улучшить почвенное плодородие и снизить затраты энергетических ресурсов. Среди зернобобовых культур люпин характеризуется практически полностью симбиотрофным азотным питанием [1]. Благодаря фиксации атмосферного азота при выращивании люпина снижается технологическая нагрузка на почву, повышается плодородие. Этот вид способен аккумулировать в биомассе, в зависимости от почвенно-климатических условий, от 150 до 300 кг/га симбиотического азота [2, с. 177; 3]. Он считается лучшим предшественником под зерновые и технические культуры. Сам люпин узколистый не предъявляет особых требований к предшественникам, для него пригодны все, за исключением бобовых.

Люпин узколистый – источник высокобелковых кормов. В зависимости от экотипа и почвенно-климатических условий содержание сырого протеина в зерне варьирует от 30,0 до 35,0 %, в сухом веществе зеленой массы – от 16,0 до 20,0 %. Среди зернобобовых культур люпин имеет наименьшее количество веществ,

ингибирующих действие протеолитических ферментов – трипсина и химотрипсина, поэтому переваримость его питательных веществ, особенно белка, достаточно высока. По биологической ценности белок люпина не уступает сое и некоторым кормам животного происхождения, а после термообработки превосходит белок куриного яйца.

В связи с расширением посевов люпина и использованием его для кормовых целей, большое значение приобретает вопрос о содержании в его зерне алкалоидов. Алкалоиды играют важную физиологическую роль в растениях люпина, обуславливая его более высокую устойчивость к засухе и избыточному увлажнению, действию низких температур, вредителям и болезням, повышая адаптивный потенциал культуры. Они благоприятно влияют на фитосанитарное состояние почв. Согласно Международному классификатору рода *Lupinus* L.¹, по содержанию алкалоидов люпин подразделяют на следующие группы: сладкий с содержанием алкалоидов в семенах менее 0,025 %; малоалкалоидный – от 0,025 до 0,10 %; среднеалкалоидный – от 0,10 до 0,30 %; высокоалкалоидный или горький – более 0,30 %. Последняя группа находит своё применение для улучшения почвенного плодородия в качестве сидерата [4]. Первую группу можно использовать в пищевой промышленности. Малоалкалоидные и среднеалкалоидные сорта пригодны для скармливания всем видам животных и птицы. По требованиям

¹Степанова С., Назарова Н., Корнейчук В. Леман Хр., Миколайчик Я. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и Международный классификатор СЭВ рода *Lupinus*. L. Л.: ВИР, 1983. 39 с.

ГОСТ Р 54632 – 2011 люпин кормовой² – зернофураж люпина с содержанием алкалоидов не более 0,10 % относится к первому классу. Он обладает хорошей технологичностью и приспособлен к современным, широко распространенным системам машин. Уникальность люпина заключается в многофункциональности его использования. Это кормовая, сидеральная, а в последние годы и пищевая культура

Наиболее благоприятные условия для получения высокого урожая семян люпина обеспечиваются при среднесуточной температуре 16...17 °С и 200...250 мм осадков в период от всходов до созревания. По сравнению с другими видами люпин узколистый в онтогенезе менее требователен к теплу. Оптимальная температура прорастания семян от +9 до +12 °С (минимальная +2...+4 °С). Всходы люпина выдерживают кратковременные весенние заморозки в фазе семядольных листочков до -3 °С, в фазе 4-6 настоящих листьев – до -7 °С [1]. В условиях изменившегося климата в сторону потепления узколистый люпин стал чувствовать себя недостаточно комфортно в южной зоне Центрального региона из-за высоких температур в критические периоды роста и развития. Превышение необходимой суммы положительных температур в фазы «цветение» и «завязывание бобов» уменьшает количество и степень развития репродуктивных органов. Продвижение посевов этого вида люпина в области с более низкими летними температурами в большей мере соответствует его биологическим требованиям. Северная граница устойчивого семеноводства узколистого люпина проходит по территориям Ленинградской, Вологодской, Кировской и Пермской областей, а выращивание его на зелёный корм и силос возможно в Карелии, Республике Коми, Мурманской области. В холодных континентальных условиях люпин способен удовлетворять потребности современного интенсивного животноводства в концентрированном комбинированном белке и может быть хорошим предшественником для зерновых и других культур [5]. Этому способствуют его скороспелость и толерантность к опасному грибковому заболеванию – антракнозу.

Зелёная масса узколистого люпина отличается повышенным кормовым качеством:

в сухом веществе содержит 16-20 % сырого белка, 50-60 мг/кг каротина, 0,005-0,015 % алкалоидов. Она хорошо поедается всеми видами сельскохозяйственных животных. Приготовленные на её основе силос, сенаж, зерносеуж и другие виды являются ценными высокобелковыми кормами. В 300 ц зелёной массы люпина содержится 50 ц сухого вещества и одна тонна белка, то есть столько, сколько его содержится в 90 ц зерна ячменя или 700 ц зелёной массы кукурузы. В кормлении сельскохозяйственных животных чаще всего применяется зелёная масса не чистых посевов люпина, а различных травосмесей с ним, которые более полноценны по необходимым питательным веществам. Наиболее часто люпин высевают совместно со следующими злаковыми, масличными и бобовыми культурами: овёс, ячмень, яровая пшеница, просо, рапс, пелюшка, вика и другие.³

Люпин узколистый исторически древняя, но в селекционном плане ещё молодая культура. Кормовые сорта с низким уровнем алкалоидов, не растрескивающимися бобами, относительно устойчивые к грибковым болезням появились лишь в конце XX века. В Российской Федерации селекцией узколистого люпина занимаются, кроме ВНИИ люпина (Брянская обл.), Ленинградский НИИСХ (Белогорка) и Московский НИИСХ (Немчиновка). У каждого учреждения направления селекционной работы в какой-то мере различаются.

Люпин узколистый на данном этапе, как и другие зернобобовые, в частности самая распространённая культура горох, по сравнению с зерновыми сильно подвержены влиянию неблагоприятных факторов вегетационного периода, что ограничивает потенциальный урожай [6].

Для стабильной реализации продуктивного потенциала новые сорта люпина должны обладать широким диапазоном реакции на изменяющиеся экологические факторы. Причём по мере ухудшения почвенно-климатических условий значение экологической устойчивости должно возрастать.

Цель исследований – выявить перспективные сорта и сортообразцы люпина узколистого по урожайности, адаптивности, продолжительности вегетационного периода и биохимическим показателям для возделывания в юго-западной зоне Центрального региона России.

²ГОСТ Р 54632 – 2011. Люпин кормовой. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.
URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792208.pdf>

³Ресурсосберегающие технологии производства зернобобовых культур в Республике Беларусь: рекомендации. Жодино: НПЦ НАН Беларуси по земледелию, 2010. 38 с.

Новизна исследований – агробиологическая оценка сортов и новых сортообразцов люпина узколистного по адаптивности и комплексу полезных хозяйственно-биологических признаков в условиях изменяющегося в сторону потепления климата.

Материал и методы. Исследования проводили на базе Всероссийского НИИ люпина (Брянская область, юго-западная зона Центрального региона России) на дерново-подзолистых суглинистых окультуренных почвах со средним уровнем плодородия (содержание гумуса по Тюрину 2,0-2,5 %, рН_{сол.} 5,0-5,6).

Материалом для исследований служили 6 сортов люпина узколистного, включённых в Государственный реестр сортов РФ, и 4 новых сортообразца селекции ВНИИ люпина, которые изучали в конкурсном сортоиспытании 2019-2021 гг. В качестве стандарта взят сорт Витязь, районированный в шести регионах Российской Федерации. Все оцениваемые в опыте сорта и сортообразцы люпина узколистного относятся к ветвистым индетерминантным формам с разной степенью блокировки бокового ветвления, универсального типа использования при приготовлении кормов для разных видов животных и птицы (зернофураж, силос, сенаж, зерносенаж).

Закладку опытов, визуальные наблюдения и учёт⁴, биохимические анализы проводили по общепринятым в селекционной работе методикам⁵.

В научно-исследовательской работе использовали технологию возделывания люпина узколистного, разработанную во Всероссийском НИИ люпина [7]. Посев проводили рекомендуемой нормой высева (1,2 млн всхожих семян на гектар) с заделкой семян люпина в почву на глубину 2...3 см. Сроки посева – одновременно с посевом яровых зерновых культур. Продолжительность вегетационного периода определена от даты всходов до момента созревания.

Анализ адаптивного потенциала сортов и сортообразцов люпина узколистного по показателю урожайности зерна проводили по методикам [8, 9] с нахождением индекса условий среды и коэффициента адаптивности.

Достоверность результатов исследований по оценке сортов узколистного люпина в конкурсном сортоиспытании проведена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁶.

Результаты и их обсуждение. Различные погодные условия в годы проведения опыта отразились на продуктивности люпина узколистного. В 2019 году в летний период наблюдалась засуха, которая не способствовала полноценному формированию урожая. Последующие 2020 и 2021 годы в первую половину вегетации характеризовались ливневыми дождями и высокотемпературными периодами, которые сильно уплотнили и иссушили почву, в результате образовалась корка. В 2021 году в фазу «цветение» прошёл ураган, который сильно повредил растения. Условия для азотфиксации были крайне неблагоприятными, что отрицательно отразилось на урожайности люпина.

Период созревания люпина узколистного (третья декада июля-первая декада августа) в 2019-2022 гг. был засушливым (ГТК = 0,43...0,82). Под влиянием повышенных температур и недостатка влаги растения люпина сбрасывали листву и усыхали. Происходила биологическая десикация, в результате нарушался нормальный процесс формирования репродуктивных органов. Масса 1000 зёрен снизилась: например, у стандартного сорта Витязь этот показатель при передаче на государственное испытание составил 160 грамм, а его среднее за три года значение в изучаемом опыте – 105 грамм, что отразилось на уровне зерновой продуктивности. Такая же ситуация наблюдалась по всем испытываемым в опыте сортам и сортообразцам.

Основным показателем эффективности производства люпина является урожайность зерна, которая за годы исследований по сортам и сортообразцам люпина в целом по опыту варьировала от 1,51 до 2,73 т/га (табл. 1). В опыте определён индекс условий среды (I_j), который показывает агроклиматическое влияние на реализацию потенциала продуктивности всего набора сортов и сортообразцов в конкретном году. Более благоприятными факторами среды для возделывания люпина узколистного характеризовался 2019 г. ($I_j = 0,25$) по сравнению с 2020 г. ($I_j = -0,08$) и 2021 г. ($I_j = -0,15$). Условия двух последних лет сложились крайне негативными для работы клубеньковых бактерий из-за неблагоприятного агрофизического и водно-воздушного режима почвы, что отрицательно отразилось на зерновой продуктивности люпина.

⁴Степанова С., Назарова Н., Корнейчук В., Леман Хр., Миколайчик Я. Указ. соч.

⁵Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Под общ. ред. М. А. Федина. М.: Б.и., 1985. 269 с.

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 263 с.

Таблица 1 – Результаты изучения сортов и сортообразцов люпина узколистного в конкурсном сортоиспытании по урожайности зерна и адаптивности (2019-2021 гг.) /

Table 1 – The results of study of blue lupin varieties and accessions in competitive varietal trial according to grain yield and adaptivity (2019-2021)

Сорт, сортообразец / Variety, accession	Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha				Коэффициент адаптивности, % / Adaptivity coefficient, %
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее / average	
Витязь, стандарт / Vityaz, standard	2,15	1,74	1,67	1,85	89
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	2,47	2,18	2,01	2,22	107
Белорозовый 144 / Belorozovy 144	2,17	1,94	1,81	1,97	95
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	2,48	2,16	1,97	2,20	106
СН 78-07 / BL 78-07	2,15	1,59	1,82	1,85	89
УСН 53-236 / USN 53-236	2,73	2,15	1,97	2,28	110
СБС 56-15 / SBS 56-15	2,38	1,96	2,18	2,17	104
БСв 51-19 / BSv 51-19	2,35	2,50	2,01	2,29	110
Смена / Smena	2,31	1,95	1,94	2,07	100
Белозёрный 110 / Belozerny 110	2,01	1,51	1,85	1,79	86
Среднесортная урожайность, т/га / The average variety yield, t/ha	2,32	1,97	1,92	2,07	-
Индекс условий среды / The environment conditions index	0,25	-0,10	-0,15	-	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,24	0,14	0,22	-	-

На факторы внешней среды изучаемые сорта реагировали одновременно как одновидовая система. Критерием нормы служит значение среднесортной урожайности, которая по всем годам и сортам в данном опыте равна 2,07 т/га. Перевод абсолютных величин урожайности в проценты позволяет сравнивать поведение сортов в разные годы. По полученному показателю можно судить об адаптивности и продуктивных возможностях сортов. Если урожайность отдельного сорта/сортообразца по отношению к среднесортной урожайности (коэффициент адаптивности) в благоприятных условиях выращивания превышает 100 %, такой сорт/сортообразец относится к потенциально высокопродуктивным. При неблагоприятных условиях в годы с невысокой общей урожайностью есть возможность определить адаптивность сравниваемых сортов и сортообразцов аналогичным способом. В такие годы потенциальная продуктивность реализуется слабо, а адаптивность, наоборот, сильнее и это позволяет более полно оценить изучаемый селекционный материал.

При неблагоприятных условиях среды наибольшей урожайностью зерна, а также

адаптивностью характеризовались сорта Брянский кормовой, Узколистный 53 и сортообразцы БСв 51-19, УСН 53-236, СБС 56-15. Коэффициент адаптивности по перечисленным вариантам опыта варьировал от 104 до 110 %. Максимальными значениями коэффициента адаптивности отличались новые, перспективные в селекционном плане сортообразцы БСв 51-19 и УСН 53-236, созданные за последние 10-12 лет. По урожайности зерна они превысили стандартный сорт Витязь на 0,43-0,44 т/га.

Сорт Белорозовый 144 районирован в 2019 году по всем регионам страны. При его создании селекционная работа была направлена на отбор растений с быстрым темпом начального роста. Посевы быстрорастущих сортов более полно используют весной факторы почвенного плодородия, раньше затевают поверхность почвы, создавая конкуренцию сорным растениям. По высоте растений новый сорт превышает стандарт на 12...15 см, отличается интенсивным начальным ростом и пониженным содержанием кожуры семян [10]. По сравнению со стандартом Витязь сорт Белорозовый 144 имеет небольшое превышение по урожайности зерна.

Среди районированных сортов относительно высоким коэффициентом адаптивности обладал сорт Брянский кормовой, включённый с 2017 года в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации и допущенный к использованию в сельскохозяйственном производстве во всех регионах страны⁷. Сорт Брянский кормовой относится к универсальному типу использования на зернофураж, зелёный корм, силос. Отличается интенсивным начальным ростом, фаза розетки отсутствует, имеет развитое боковое ветвление, толерантен к грибным болезням, устойчив к полеганию [11, 12]. Сорт по зерновой и зеленоукосной продуктивности превосходит стандарт на 15-20 %, по коэффициенту адаптивности на 18 %.

Сорта люпина узколистного ежегодно испытываются в разных экологических точках. При проведении экологического сортоиспытания наиболее благоприятными для реализации потенциала зерновой продуктивности (4,0-4,5 т/га) сортов люпина, созданных во Всероссийском НИИ люпина, являются почвенно-климатические условия Шатиловской сельскохозяйственной опытной станции (Орловская область), урожайность зерна на уровне 3,0-4,0 т/га была получена в Калининградской области, Республике Мордовия, Красноярском крае. Последние несколько лет люпин узколистный испытывается в Иркутском ГАУ им. А. А. Ежевского [13]. Узколистный люпин является широко распространённой товарной культурой в Австралии, где для нужд животноводства производят массовые закупки кормового зерна страны северного полушария [14].

Современные сорта люпина узколистного селекции Всероссийского НИИ люпина при выращивании их на семена или зернофураж отличаются достаточно коротким вегетационным периодом – на уровне зерновых культур (табл. 2). Они вызревают в регионах с суммой активных температур 1700-1800 °С, поэтому люпин узколистный не без основания называют «северной соей». При выращивании в зелёном конвейере поукосно или пожнивно люпину узколиственному достаточно суммы температур 1350-1400 °С. Продолжительность

вегетации представленных в таблице 2 сортов и сортообразцов варьирует в диапазоне 75-92 дня, средний показатель составил 80-89 дней. Календарный срок созревания наступает в конце июля-первой декаде августа.

Кормовые сорта селекции ВНИИ люпина по алкалоидности стабильно входят в малоалкалоидную (0,031-0,063 %) группу (табл. 2). В зависимости от почвенно-климатических условий и генотипических особенностей сорта величина показателя может изменяться. За годы конкурсного сортоиспытания содержание алкалоидов в зерне отдельных сортообразцов варьировало от 0,026 до 0,084 % и ни разу не вышло за пределы малоалкалоидной группы. Этот показатель постоянно контролируется качественными и количественными методами определения. Во Всероссийском НИИ люпина разработаны методические рекомендации по определению количественного содержания алкалоидов в люпине⁸. Стабильностью показателя на низком уровне (0,031-0,039 %) выделились сорта Смена, Узколистный 53 и сортообразец СБС 56-15.

Содержание сырого протеина в зерне представленных в таблице сортов составляет 32,0-33,8 %. Этот показатель, как у всех бобовых, в зависимости от условий выращивания в какой-то мере варьирует. В экологических опытах разных научно-исследовательских учреждений содержание показателя в зерне сортов селекции Всероссийского НИИ люпина достигает 38-39 % [15].

Урожайность зелёной массы изучаемых сортов и сортообразцов люпина узколистного, представленных в таблице 3, варьировала от 21,4 до 37,5 т/га.

Для реализации потенциала зеленоукосной продуктивности более благоприятными сложились 2019 и 2021 годы. Индекс условий среды равен 1,7 и 2,4. Среднесортная урожайность по опыту составила 30,9 т/га. Коэффициент адаптивности более 100 % получен по пяти сортам и сортообразцам. Наибольшей способностью адаптироваться к условиям среды и реализовывать потенциал зеленоукосной продуктивности обладали сорт Брянский кормовой и сортообразец СБС 56-15.

⁷Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М.: Росинформагротех, 2017. Т.1. 483 с. URL: https://zelenogradsk.com/tfiles/New%20Folder/reestr_2017.pdf

⁸Артюхов А. И., Яговенко Т. В., Афонина Е. В., Трошина Л. В. Количественное определение алкалоидов: методические рекомендации. Брянск, 2012. 15 с.

Таблица 2 – Характеристика сортов и сортообразцов люпина узколистного по продолжительности вегетационного периода и биохимическим показателям зерна /

Table 2 – Characteristics of varieties and accessions of blue lupin according to the duration of vegetation period and biochemical indices of the grain

<i>Сорт, сортообразец / Variety, accession</i>	<i>Вегетационный период, дни / Vegetation period, days</i>				<i>Алкалоиды в зерне, % / Alkaloids in grain, %</i>	<i>Сырой протеин, % / Raw protein, %</i>
	<i>2019 г.</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>	<i>среднее / average</i>		
Витязь, стандарт / Vityaz, standard	75	84	82	80	0,052	33,6
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	77	88	81	82	0,060	32,0
Белорозовый 144 / Belorozovy 144	88	88	90	89	0,050	33,8
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	82	90	85	86	0,031	33,8
СН 78-07 / BL 78-07	88	92	80	87	0,063	32,7
УСН 53-236 / USN 53-236	82	90	85	86	0,044	32,6
СБС 56-15 / SBS 56-15	78	88	85	84	0,039	32,6
БСв 51-19 / BSv 51-19	80	90	83	84	0,043	32,6
Смена / Smena	82	88	85	85	0,039	33,4
Белозёрный 110 / Belozerny 110	78	86	83	82	0,045	32,7

Таблица 3 – Результаты изучения сортов и сортообразцов люпина узколистного по адаптивности и урожайности зелёной массы (2019-2021 гг.) /

Table 3 – The results of study of varieties and accessions of blue lupin according to adaptivity and green mass yield (2019-2021)

<i>Сорт, сортообразец / Variety, accession</i>	<i>Урожайность зелёной массы, т/га / Green mass yield, t/ha</i>				<i>Коэффициент адаптивности, % / Adaptivity coefficient, %</i>
	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>среднее / average</i>	
Витязь, стандарт / Vityaz, standard	27,4	21,4	32,2	27,0	87
Брянский кормовой / Bryansky kormovoy	36,3	29,5	36,2	34,0	110
Белорозовый 144 / Belorozovy 144	33,4	24,5	35,0	31,0	100
Узколистный 53 / Uzkolistny 53	33,9	26,6	33,5	31,3	101
СН 78-07 / BL 78-07	26,8	31,6	32,6	30,3	98
УСН 53-236 / USN 53-236	35,0	29,0	32,3	32,1	104
СБС 56-15 / SBS 56-15	37,5	26,3	35,3	33,0	107
БСв 51-19 / BSv 51-19	34,5	29,3	32,3	32,0	104
Смена / Smena	30,3	26,8	33,5	30,2	98
Белозёрный 110 / Belozerny 110	30,5	22,1	30,5	27,7	90
Среднесортная урожайность, т/га / The average variety yield, t/ha	32,6	26,7	33,3	30,9	-
Индекс условий среды / The environment conditions index	1,7	-4,2	2,4	-	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	4,6	1,7	3,4	-	-

Закключение. В процессе исследований выявлены сорта и сортообразцы люпина узколистного с повышенным уровнем адаптивности (104-110 %). По урожайности зерна выделились новые сортообразцы УСН 53-236 и БСв 51-19, прибавка к сорту-стандарту Витязь составила 0,43-0,44 т/га. Низкое содержание алкалоидов в зерне (0,031 %) имеет сорт Узколистый 53. По продолжительности вегетационного периода изучаемые сорта и сортообразцы вошли в группу раннеспелых.

При реализации потенциала зеленоукосной продуктивности по коэффициенту адаптивности и урожайности в конкурсном сорто-

испытании выделен сорт Брянский кормовой и новые перспективные сортообразцы СБС 56-15, УСН 53-236 и БСв 51-19. Прибавка к стандарту по урожайности зелёной массы равна 5,0-7,0 т/га, коэффициент адаптивности 104-110 %.

По комплексу положительных признаков выделились сорт Брянский кормовой и новые сортообразцы УСН 53-236 и СБС 56-15. Они совмещают в себе повышенную продуктивность с экологической устойчивостью и являются перспективным селекционным материалом при создании новых сортов люпина узколистного.

Список литературы

1. Такунов И. П. Люпин в земледелии России. Брянск: Придесенье, 1996. 372 с.
2. Новиков М. Н., Тужилин В. М., Самохина О. А., Лисятников И. И. Система биологизации земледелия в Нечернозёмной зоне: науч.-практ. рекомендации на примере Владимирской области. М.: Росинформгротех, 2007. 295 с.
3. 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.
4. Лысенко О. Г. Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) – сидеральная культура. Научные труды по агрономии. 2019;(2):45-50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41619431>
5. Косолапов В. М., Яговенко Г. Л., Лукашевич М. И., Агеева П. А., Новик Н. В., Мисникова Н. В., Слесарева Т. Н., Такунов И. П., Пимохова Л. И., Яговенко Т. В. Люпин: селекция, возделывание, использование. Брянск: Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с.
6. Пономарева С. В., Селехов В. В. Влияние погодных условий на урожайность и качество сортов гороха. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(1(56)):20-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28318038>
7. Такунов И. П., Слесарева Т. Н., Лукашевич М. И., Агеева П. А., Якушева А. С., Руцкая В. И. и др. Инновационный опыт производства кормового люпина. М.: Росинформгротех, 2012. 77 с.
8. 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):3-7. Режим доступа: <https://istina.msu.ru/publications/article/2314139/>
9. Наумкин В. Н., Наумкина 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(21)):132-141. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37378400>
10. Агеева П. А., Почутин Н. А. Белорозовый 144 – новый сорт кормового узколистного люпина. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021;(3(39)):119-124. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-119-124>
11. Агеева П. А., Почутин Н. А. Результаты испытания сортов узколистного люпина. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018;(3(27)):77-81. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11037>
12. Лукашевич М. И., Агеева П. А., Новик Н. В., Захарова М. В. Достижения и перспективы селекции люпина. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(2):29-32. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10207>
13. Иванова Е. И., Хуснидинов Ш. К., Замашиков Р. В., Агеева П. А. Особенности плодообразования люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) в условиях Иркутской области. Актуальные вопросы агропромышленного комплекса России и за рубежом: мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф., посвящённой 85-летию доктора с.-х. наук Ш. К. Хуснидинова. Иркутск: Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2021. С. 60-66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47442185&pf=1>
14. Crosbie G. B., Gladstones J. S. Lupin wild types introduced into Western Australia to 1973. Technical Bulletin. 1978. 43 p. URL: https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=tech_bull
15. Вишнякова М. А., Бурляева М. О., Семёнова Е. В., Сеферова И. В., Соловьёва А. Е., Шеленга Т. В., Булынец С. В., Буравцева Т. В., Яньков И. И., Александрова Т. Г., Егорова Г. П. Исходный материал для селекции на качество зерна и зелёной массы в коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВИР. Зернобобовые и крупяные культуры. 2014;(2(10)):6-16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21637250>

References

1. Takunov I. P. *Lyupin v zemledelii Rossii*. [Lupin in agriculture of Russia]. Bryansk: Pridesen'e, 1996. 372 p.
2. Novikov M. N., Tuzhilin V. M., Samokhina O. A., Lisyatnikov I. I. *Sistema biologizatsii zemledeliya v Nechernozemnoy zone: nauch.-prakt. rekomendatsii na primere Vladimirskoy oblasti*. [Biologization system of agriculture in the Non-Chernozem zone: scientific guidance the case of Vladimir region]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2007. 295 p.
3. Yagovenko G. L., Belous N. M., Yagovenko L. L. *Lyupin v zemledelii Tsentral'nogo regiona Rossii: vliyaniye na agrokhimicheskie svoystva seroy lesnoy pochvy i produktivnost' sevooborotov*. [Lupin in agriculture of the Central region of Russia: impact of agrochemical characters of the gray forest soil and crop rotation productivity]. Bryansk: BGAU, 2011. 183 p.
4. Lysenko O. G. *Lyupin uzkolistnyy (Lupinus angustifolius L.) – sideral'naya kul'tura*. [Narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) – sidereal culture]. *Nauchnye trudy po agronomii* = Research papers on agronomy. 2019;(2):45-50. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41619431>
5. Kosolapov V. M., Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V., Slesareva T. N., Takunov I. P., Pimokhova L. I., Yagovenko T. V. *Lyupin: selektsiya, vozdeleyvaniye, ispol'zovaniye*. [Lupin: breeding, cultivation, use]. Bryansk: Bryanskoe oblastnoye poligraficheskoye ob"edineniye, 2020. 304 p.
6. Ponomareva S. V., Selekhov V. V. *Vliyaniye pogodnykh usloviy na urozhaynost' i kachestvo sortov gorokha*. [The yield and the quality of pea cultivars depending on weather conditions]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(1(56)):20-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28318038>
7. Takunov I. P., Slesareva T. N., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Yakusheva A. S., Rutskeya V. I. et al. *Innovatsionnyy opyt proizvodstva kormovogo lyupina*. [Innovation experience for forage lupin production]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2012. 77 p.
8. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. *Metodika vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu «urozhaynost'»*. [Methods for detection of potential productivity and adaptivity of winter wheat varieties and breeding lines for «yield» parameter]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1994;(2):3-7. (In Russ.). URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/2314139/>
9. Naumkin V. N., Naumkina L. A., Kurenskaya O. Yu., Lukashevich M. I., Ageeva P. A. *Otsenka sortov lyupina po urozhaynosti i kachestvu semyan, adaptivnosti i ustoychivosti rasteniy k zasukhe*. [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(21)):132-141. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37378400>
10. Ageeva P. A., Pochutina N. A. *Belorozovyy 144 – novyy sort kormovogo uzkolistnogo lyupina*. [Belorozovyy 144 is a new feed narrow-leaved lupin variety]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2021;(3(39)):119-124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-119-124>
11. Ageeva P. A., Pochutina N. A. *Rezultaty ispytaniya sortov uzkolistnogo lyupina*. [Results of the narrow-leaved lupin testing]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2018;(3(27)):77-81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11037>
12. Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Zakharova M. V. *Dostizheniya i perspektivy selektsii lyupina. Dostizheniya nauki i tekhniki 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>
13. Ivanova E. I., Khusnidinov Sh. K., Zamashchikov R. V., Ageeva P. A. *Osobennosti plodoobrazovaniya lyupina uzkolistnogo (Lupinus angustifolius L.) v usloviyakh Irkutskoy oblasti*. [Peculiarities of fruit formation of blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) in Irkutsk region]. *Aktual'nye voprosy agropromyshlennogo kompleksa Rossii i za rubezhom: mat-ly Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 85-letiyu doktora s.-kh. nauk Sh. K. Khusnidinova*. [Current problems of agro-industrial complex in Russia and abroad: Proceedings of All-Russian scientific and practical Conference, dedicated to the 85th anniversary of DSc in Agriculture Sh. K. Husnidinov]. Irkutsk: Irkutskiy GAU im. A. A. Ezhevskogo, 2021. pp. 60-66. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47442185&pff=1>
14. Crosbie G. B., Gladstones J. S. *Lupin wild types introduced into Western Australia to 1973*. Technical Bulletin. 1978. 43 p. URL: https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=tech_bulletin
15. Vishnyakova M. A., Burlyaeva M. O., Semenova E. V., Seferova I. V., Solov'eva A. E., Shelenga T. V., Bulyntsev S. V., Buravtseva T. V., Yan'kov I. I., Aleksandrova T. G., Egorova G. P. *Iskhodnyy material dlya selektsii na kachestvo zerna i zelenoy massy v kolleksii geneticheskikh resursov zernobobovykh VIR*. [The starting material for selection for grain quality and green mass in the VIR collection of leguminous genetic resources]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2014;(2(10)):6-16 (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21637250>

Сведения об авторах

✉ **Агеева Полина Алексеевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления селекции узколистного люпина, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», ул. Берёзовая 2, п. Мичуринский, Брянский р-н., Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5928-5168>, e-mail: lupin.labuzkolist@mail.ru

Почутина Наталья Александровна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», ул. Берёзовая 2, п. Мичуринский, Брянский р-н., Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8285-4880>

Громова Ольга Михайловна, младший научный сотрудник направления селекции узколистного люпина, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», ул. Берёзовая 2, п. Мичуринский, Брянский р-н., Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru

Зайцева Наталья Михайловна, старший научный сотрудник направления физиологии растений, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», ул. Берёзовая 2, п. Мичуринский, Брянский р-н., Брянская обл., Российская Федерация, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4952-529X>

Information about the authors

✉ **Praskovya A. Ageeva**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Department of blue lupin breeding, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya str. 2, s. Michurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5928-5168>, e-mail: lupin.labuzkolist@mail.ru

Natalia A. Potchutina, senior researcher, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya str. 2, s. Michurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8285-4880>

Olga M. Gromova, junior researcher, the Department of blue lupin breeding, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya str. 2, s. Michurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru

Natalia M. Zaytseva, senior researcher, the Department of plant physiology, All-Russian Lupin Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Berezovaya str. 2, s. Michurinsky, Bryansk region, Russian Federation, 241524, e-mail: lupin_mail@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4952-529X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО /
FODDER PRODUCTION<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>

УДК 631.5:631.6:911.2

**Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга**

© 2022. Д. А. Иванов, О. В. Карасева, М. В. Рублюк, О. Н. Анциферова✉

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

Проведен мониторинг урожайности (2003-2018 гг.) пятикомпонентного травостоя на выводном поле в пределах моренного холма с целью нахождения закономерностей ее динамики в агроландшафте. Травостой эксплуатировался в условиях Тверской области без удобрений в одноукосном режиме на поле, пересекающем все микроландшафтные позиции холма (трансекте) и разбитом на 30 делянок. Ежегодные данные по продуктивности травосмеси на каждой делянке представлены в виде: 1) абсолютной урожайности (конкретная урожайность сена); 2) относительной урожайности (выраженной в процентах от максимальной урожайности на трансекте в конкретном году). Выявлено, что урожайность трав максимальна в центральных частях ($\approx 6,5$ т/га) и минимальна в верхних частях склонов холма и на вершине ($\approx 5,2$ т/га). Временная вариабельность урожайности зависит от геологического строения почв – возрастает при переходе от мощных двучленов (≈ 40 %) к маломощным (≈ 65 %). Корреляционный анализ показал, что переход на относительные единицы (% урожайности) позволяет на порядок уменьшить влияние климата на вариабельность данных. Максимальное совпадение временных динамик разных показателей урожайности отмечено на верхних высотных отметках – здесь климатические условия не оказывают значительного влияния на урожай, как на склонах. Наибольшее воздействие на урожайность оказывают изменения суммы активных температур. Усредненные показатели коэффициентов корреляции урожайности и сумм температур отрицательны в местах распространения почв на мощных и среднемощных двучленах и положительны – на маломощных двучленах. Обнаружена обратно пропорциональная зависимость абсолютной урожайности трав от сумм активных температур в предукосные периоды и в сентябре и прямо пропорциональная во второй половине лета. Увеличение суммы температур способствует снижению относительной урожайности на песчаных почвах и оптимизирует продукционный процесс на супесях и легких суглинках. Дисперсионный анализ показал, что основное влияние температур на абсолютную урожайность оказывает гидроморфизм почв. Степень воздействия температур на относительную урожайность зависит от характера водообмена в агроландшафте, экспозиции склонов (энергетики) и гранулометрического состава почв. Результаты позволяют адаптировать к условиям хозяйств мероприятия по размещению травостоев, регулированию водного и теплового режимов почв.

Ключевые слова: травостой, трансекта, статистический анализ, земледелие, агроклимат**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема №0651-2019-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В., Анциферова О. Н. Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):221-229. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>

Поступила: 17.01.2022

Принята к публикации: 01.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring

© 2022. Dmitry A. Ivanov, Olga V. Karaseva, Maria V. Rublyuk,

Olga N. Antsiferova✉

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

Yield monitoring of a five-component grass stand in a breeding field within a moraine hill was carried out in 2003-2018 in order to find patterns of its dynamics in the agrolandscape. The grass was used in the conditions of the Tver region without fertilizers in a single-cut mode in a field crossing all microlandscape positions of the hill (transect) and divided into 30 plots. Annual data on productivity of grass mixture on each plot are presented in the form of: 1) absolute yield (specific hay yield); 2) relative yield (expressed as a percentage to maximum yield on a transect in a definite year). It was revealed that the yield of grasses is maximum in the central parts (≈ 6.5 t/ha) and minimal in the upper parts of the hillsides and at the top (≈ 5.2 t/ha). Time variability of yield depends on the geological structure of the soils – increases with the transition from

powerful binomials ($\approx 40\%$) to low-powerful ones ($\approx 65\%$). Correlation analysis showed that the transition to relative units (% of the yield) can significantly reduce the impact of climate on data variability. The maximum coincidence of temporal dynamics of different yield indicators is noted at the upper elevations – here climatic conditions do not have a significant impact on the yield, as on slopes. Changes in the sum of the active temperatures have the greatest influence on the yield. Average indicators of correlation coefficients of yield and temperature sums are negative on the plots of soil distribution on powerful and medium-powerful binomials and positive on soils of low-powerful binomials. There has been found an inversely proportional dependence of the absolute yield of grasses on the sums of active temperatures in the pre-cut periods and in September and directly proportional in the second half of summer. Increasing the sum of temperatures contributes to a decrease in relative yields on sandy soils and optimizes the production process on loams and light loams. Dispersion analysis has shown that the main influence of temperatures on absolute yield is exerted by soil hydromorphism. The degree of impact of temperatures on relative yield depends on the nature of water exchange in the agrolandscape, the exposure of slopes (energy) and granulometric composition of soils. The results will make it possible to adapt measures for the placement of grass stands, regulation of water and thermal regimes of soils to farm conditions.

Keywords: grass stand, transect, statistical analysis, agriculture, agroclimate

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 Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0651-2019-0005).

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

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

For citations: Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V., Antsiferova O. N. Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):221-229. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>

Received: 17.01.2022

Accepted for publication: 01.03.2022

Published online: 20.04.2022

Развитие методологии адаптивно-ландшафтного земледелия, частью которого является земледелие прецизионное [1], требует углубленного изучения динамических процессов в агроландшафте, являющихся основой его метаболизма и определяющих особенности его современных и будущих состояний. Следует различать два вида динамических проявлений в агрогеосистемах (АГС) – пространственную и временную динамику состояний ее компонентов, которые являются двумя сторонами единого процесса развития сельскохозяйственно-преобразованного природно-территориального комплекса.

Пространственно-временная динамика состояний присуща всем компонентам АГС [2], однако наиболее сильно она проявляется в ее растительном ярусе, особенно представленном многолетними многокомпонентными травостоями [3]. Знание характеристик пространственно-временной изменчивости урожайности культур позволяет прогнозировать не только продуктивность агроландшафтов, но и корректно планировать сроки и особенности проведения агротехнологических мероприятий в их различных частях, что является основным атрибутом адаптивно-ландшафтного земледелия [4, 5]. Системы ландшафтного земледелия позволяют контролировать состояние растительного покрова агрогеосистем и их основных компонентов в различных частях хозяйства при разной интенсификации производства

и оперативно вносить необходимые коррективы в процесс выращивания культур [6, 7, 8].

Цель исследований – выявление основных факторов, влияющих на характер пространственной и временной динамики урожайности многолетних трав в пределах конечно-моренного холма для получения новых знаний о процессах функционирования агроландшафта.

Научная новизна. В ходе исследований получены новые знания в области адаптивно-ландшафтного кормопроизводства, основывающегося на понимании закономерностей формирования травостоев в различных ландшафтных условиях и агроклиматических обстановках.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели осуществляли мониторинг урожайности сена пятикомпонентного (люцерна синегибридная, райграс пастбищный, клевер красный, тимофеевка луговая и овсяница луговая) злакобобового травостоя в 2003-2018 гг. в условиях конечно-моренной гряды на агроэкологическом стационаре Всероссийского НИИ мелиорируемых земель.

Стационар расположен в 4 км к востоку от г. Тверь, на моренном холме с относительной высотой 15 м, состоящем из плоской вершины, северного пологого склона крутизной 2-3°, южных склонов (3-5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). Почвообразующие породы на территории стационара – двучленные отложения. В его южной части мощность кроющего песчано-супесчаного наноса местами

превышает 1,5 м. На вершине и северном склоне холма пахотные горизонты сложены супесью и легким суглинком, мощность легкого кроющего наноса здесь колеблется около 1 м, а в межхолмной депрессии морена местами выходит на поверхность. Почвенный покров представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, развивающихся на двучленных отложениях различной мощности [9, 10]. Характерной особенностью объекта исследований является определенная зависимость гранулометрического состава пахотных горизонтов почв от мощности кроющего наноса. Как правило, почвы на мощных двучленах характеризуются пахотными горизонтами более легкого гранулометрического состава, чем в местах с близким к поверхности залеганием морены.

Исследования проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком поле, пересекающем все микроландшафтные позиции конечно-моренной гряды: транзитно-аккумулятивные (Т-А) агроландшафты (АМЛ) нижних частей склонов и межхолмных депрессий, характеризующиеся аккумуляцией элементов питания из намывных и грунтовых вод; транзитные (Т) АМЛ, расположенные в центральных частях склонов, в которых господствует латеральный ток влаги; элювиально-транзитные (Э-Т) местоположения верхних частей склонов, где, наряду с латеральным током влаги, происходит ее вертикальное перемещение по почвенному профилю и элювиально-аккумулятивный (Э-А) ландшафт вершины, в пределах которого вертикальное промывание почвенного профиля чередуется с локальной аккумуляцией влаги в микропонижениях (блюдцах)¹.

Выводное поле, где проводились наблюдения, располагалось вдоль трансекты на полосе шириной 7,2 м и длиной 1300 м. Травостой, который был посеян в 1997 году, эксплуатировался в одноукосном режиме без внесения удобрений. Поле разбито на 30 одинаковых делянок, где определялась урожайность трав сплошным методом. Учетная площадь делянки 23,3 м², повторность 4-кратная. Для нахождения наиболее информативного способа определения

факторов ландшафтной среды, влияющих на урожайность сена, данные по продуктивности травостоя за каждый год представлены в двух видах: 1) абсолютная урожайность (конкретная урожайность сена), т/га; 2) относительная урожайность (выражается в процентах от максимальной урожайности на трансекте в конкретном году).

В ходе исследований на основе корреляционного анализа, выполненного в среде Excel, рассчитывалось влияние параметров агроклиматических обстановок за вегетационные периоды в годы исследований (мая и июня года укоса, а также июля-сентября предыдущего года) на урожайность травостоя, которое во многом определяет характер динамических процессов в геокомплексе [11]. Агроклиматические показатели: 1) сумма активных температур – $\Sigma t > 10^{\circ}$; 2) сумма осадков, мм; 3) ГТК по Селянинову – заимствованы из базы данных Тверской метеостанции.

На основе трехфакторного дисперсионного анализа, выполненного в среде STATISTICA 7, где фактором А являлись склоны разной экспозиции (южный и северный), фактором В – агроландшафты (Т-Аю², Тю, Э-Тю, Э-А, Э-Тс, Тс, Т-Ас), а фактором С – почвы (глееватая и глеевая), определялось влияние условий различных структурных элементов агроландшафта на пространственную вариабельность коэффициентов корреляции. Степень влияния ландшафтных факторов на коэффициенты корреляции вычисляли методом Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую³.

Результаты и их обсуждение. Средне-многолетняя (2003-2018 гг.) урожайность сена на агроэкологическом полигоне составила 5,8 т/га. Максимальная урожайность наблюдалась на транзитах (средних частях склонов) – 6,4 т/га на южном склоне и 6,5 т/га на северном. Минимальная урожайность отмечена на верхних высотных отметках агроландшафта – здесь она колеблется от 5,2 до 5,8 т/га. Отмечен закономерный рост коэффициентов временной вариации урожайности сена при переходе от мощных двучленов ($\approx 40\%$) к маломощным ($\approx 65\%$).

¹Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Салихов Р. А., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Рублюк М. В. Создание ландшафтного полигона нового поколения. Земледелие. 1999;(6):15-16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-dinamiki-produktivnosti-trav-na-osnove-dannyh-mnogoletnego-monitoringa>

²Малыми буквами обозначена экспозиция: ю – южная, с – северная.

³Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.

Пространственно-временная динамика урожайности травостоев зависит от множества причин: пестроты природных свойств геокомплекса, флуктуации агроклиматической обстановки, трансформации (со временем) видового состава травостоя и агрохимических свойств почв, предыдущего состояния растительного сообщества и т. д. На характере пространственно-временной вариабельности показателей абсолютной урожайности отражается воздействие всего этого комплекса факторов, тогда как ее процентные показатели меньше зависят от флуктуации агроклиматических условий, так как рассчитаны отдельно для каждого года. Сравнение этих двух видов данных урожайности позволяет выявить места в агроландшафте, в которых травостой по-разному реагирует на изменчивость агроклимата. При сравнении относительных (выраженных в процентах) единиц урожайности разных лет можно определять места на трансекте, стабильно оптимальные для произрастания культуры.

Максимальные совпадения временных динамик абсолютных и относительных показателей урожайности отмечены на вершине холма и верхних частях его склонов ($r \approx 0,7$). Это говорит о том, что здесь вариабельность климатических условий не оказывает столь значительного влияния на урожай, как на центральных и нижних частях склонов, где коэффициенты корреляции между ними минимальны ($r \approx 0,3$).

Корреляционный анализ одиннадцати-летних данных показал, что воздействие различных параметров агроклимата на абсолютные показатели урожая в разные месяцы не одинаково – меняются не только значения коэффициентов, но и их знак. Поэтому значения коэффициентов корреляции, усредненные в пространстве и во времени, невелики: между урожайностью и суммой активных температур = -0,20, урожайностью и ГТК = -0,02, урожайностью и осадками = 0,03. Подобные процедуры, совершенные с относительными показателями урожайности трав, позволили получить соответственно такие результаты: -0,012, 0,007 и -0,0008. При их сравнении видно, что, во-первых, наиболее существенное воздействие на урожайность оказывают изменения суммы активных температур, а, во-вторых, переход на относительные единицы измерения урожайности позволяет на порядок уменьшить

влияние климата на вариабельность массива данных и проявить другие аспекты его структуры.

На рисунке 1 показаны значения коэффициентов корреляции абсолютных (А) и относительных (Б) показателей урожайности и суммы активных температур в каждой точке опробования. Следует отметить, что определенная часть коэффициентов корреляции (рис. 1) недостоверна вследствие значительной ландшафтно-почвенной пестроты объекта исследования и влияния на урожайность большого количества факторов. Однако в данной работе поставлена задача выявления основных тенденций воздействия температур на урожай трав в различных ландшафтных условиях и периодах вегетации, что позволяет использовать весь набор результатов, полученных в ходе статистического анализа.

Необходимо отметить, что, во-первых, пространственная динамика средних значений коэффициентов корреляции принципиально не меняется при переходе от абсолютных к относительным единицам измерения урожайности – они отрицательны в местах распространения мощных и среднемощных двучленов и положительны на маломощных двучленах, однако на графике “Б” эта закономерность более контрастна.

Во-вторых, коэффициенты корреляции температур с абсолютными значениями плавно уменьшаются по мере утяжеления гранулометрического состава почв, тогда как на графике “Б” этого не наблюдается.

Между абсолютным урожаем трав и суммами температур в предукосные периоды (май, июнь) практически повсеместно наблюдается обратно пропорциональная зависимость, вследствие ускорения бутонизации и интенсификации оттока пластических веществ в генеративные органы растений. Негативные воздействия оказывают также и высокие температуры в сентябре, при которых травостой сильно отрастает, что затрудняет его перезимовку; положительное влияние высоких температур середины и конца лета объясняется быстрым восстановлением травостоя после укоса. График “Б” показывает, что увеличение температур практически во все периоды вегетации приводит к снижению относительных показателей урожайности трав в местах с господством мощных двучленов и оптимизирует продукционный процесс в местах с близким залеганием морены.

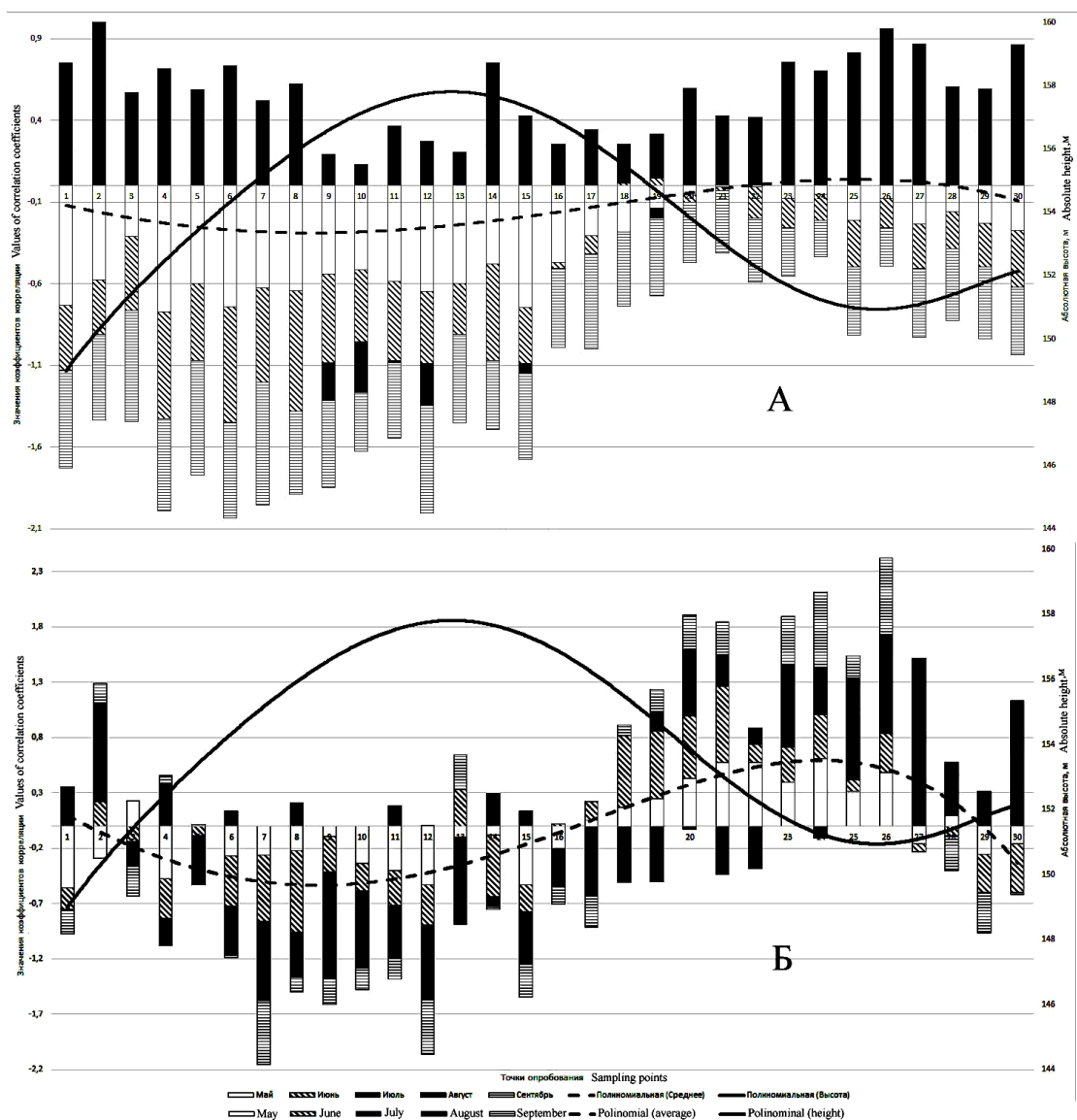


Рис.1. Результаты корреляционного анализа влияния сумм активных температур на абсолютные (А) и относительные (Б) показатели урожайности пятикомпонентной травосмеси в пределах агроландшафта /
Fig. 1. Results of correlation analysis of the influence of the sums of active temperatures on absolute (A) and relative (Б) yield indicators of a five-component grass mixture within the agrolandscape

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа влияния природных условий различных элементов ландшафта на пространственную вариабельность коэффициентов корреляции урожая и температур в разные периоды показаны на рисунке 2. Сравнение усредненных по времени значений по абсолютным (график “А”) и относительным (график “Б”) данным показало, что элиминирование погодных условий приводит к исчезновению достоверного влияния на вариабельность коэффициентов корреляции таких эффектов, как взаимодействия почвенных и экспозиционных, а также почвенных и микроландшафтных факторов, что свидетельствует об исключении блока почвенной памяти из фак-

торного пространства эксперимента при переходе на относительные единицы измерения урожайности [11].

Наибольшую (60,7%) долю пространственной неоднородности усредненных коэффициентов корреляции, рассчитанных на основе абсолютных значений, определяют особенности гидроморфизма почв в различных микроландшафтных условиях. В наиболее сырых местах трансекты – нижней трети южного склона, на вершине и в верхней части северного склона на глеевых почвах наблюдается усиление негативного влияния сумм температур на урожайность трав, а в других, менее увлажненных, частях агроландшафта это воздействие в пределах гидроморфных почв становится менее заметным.

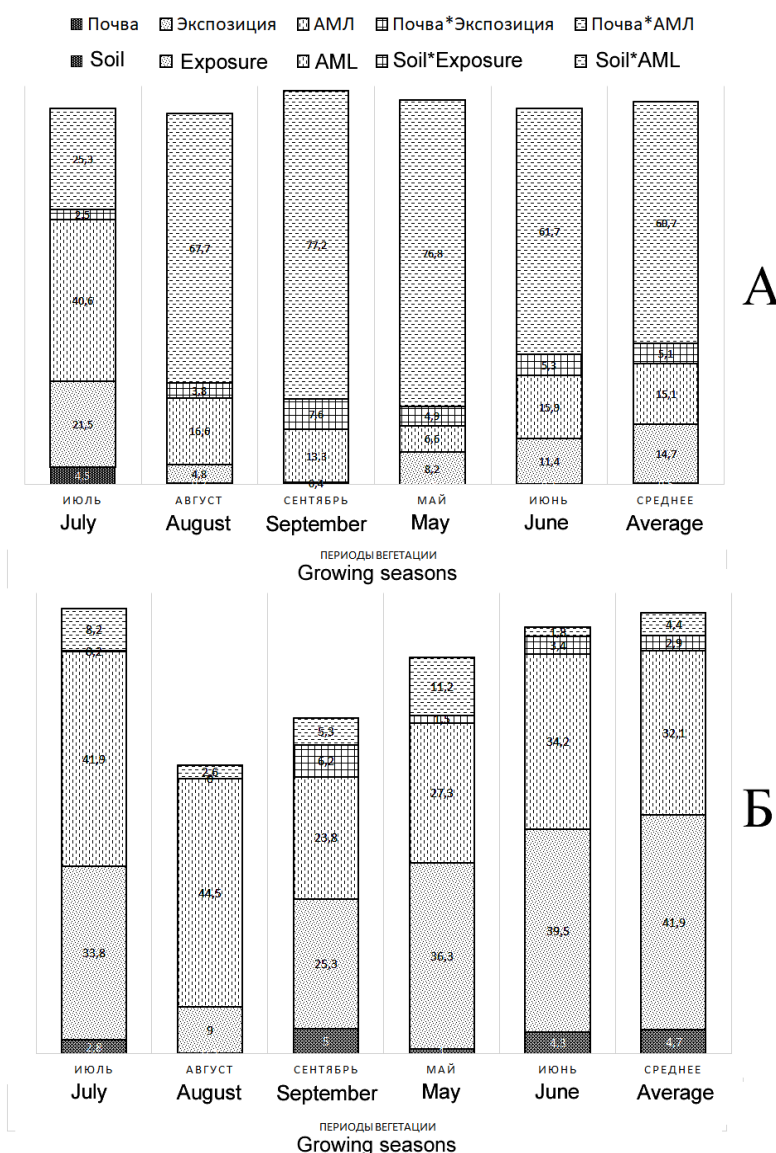


Рис. 2. Результаты дисперсионного анализа воздействия ландшафтных условий стационара на вариабельность значений коэффициентов корреляции абсолютной (А) и относительной (Б) урожайности трав и сумм активных температур /

Fig. 2. Results of dispersion analysis of the impact of landscape conditions of the permanent study area on the variability of the values of the correlation coefficients of absolute (A) and relative (Б) yield of grasses and the sums of active temperatures

Гораздо меньшее, хоть и достоверное, влияние на изменчивость коэффициентов корреляции оказывает взаимодействие почвенных и экспозиционных факторов. В нашем опыте различия в экспозиции склонов определяют не только разницу в прогреве территории, но и неоднородность гранулометрического состава почв, что во многом обусловлено генезисом конечно-моренных образований⁴. Эти особенности, по-видимому, объясняют незначительную “силу” влияния как экспозиции склонов

(14,7 %), так и ее взаимодействия с почвой (5,1 %) на вариабельность коэффициентов корреляции. Исследования показали, что на южном склоне усредненное по месяцам значение коэффициентов корреляции в два раза превышает таковое на северном. На глеевых почвах в пределах южного склона негативное влияние температур проявляется заметно сильнее, чем на глееватых, а на северном склоне трава на более сухих почвах страдает от излишков тепла несколько больше, чем на переувлажненных.

⁴Борзов А. А. Геоморфология Калининской области. Ученые записки МГУ. 1938;(23):16-54.

Природные условия агромикрорландшафтов оказывают практически такое же влияние (15,1 %) на вариабельность коэффициентов корреляции, как и экспозиция склонов. Максимальное отрицательное влияние температур на продуктивность трав наблюдается в середине и верхней части южного склона, а также на вершине холма ($r = -0,24, -0,30, -0,28$ соответственно).

Анализ динамики коэффициентов корреляции, рассчитанных для разных периодов вегетации трав, показал, что наибольшее влияние на нее совокупности микрорландшафтных и почвенных факторов приходится на самые холодные месяцы, что говорит о максимальной уязвимости агроценоза в периоды, связанные с перезимовкой. В разгар лета влияние почвенных условий уменьшается, так как контрастность почв по влажности снижается.

Данные графика “Б” показывают, что максимальное воздействие (41,9 %) на вариабельность усредненных по месяцам коэффициентов корреляции температур и относительных показателей урожайности оказывает экспозиция склонов. Южный склон наименее оптимален для произрастания трав ($r = -0,35$), тогда как на северном коэффициент корреляции несколько больше нуля. Достоверное влияние (32,1 %) на пространственную изменчивость коэффициентов корреляции оказывают и природные условия агромикрорландшафтов. Негативное влияние температур на урожай трав наблюдается в центральных и верхних частях южного склона, на вершине холма и в верхней части северного склона ($r = -0,36, -0,52, -0,36$ и $-0,35$ соответственно). Центральные и нижние части северного склона характеризуются положительными воздействиями температур на урожай ($r = 0,41$ и $0,51$ соответственно).

Минимальное влияние температур на урожайность трав отмечено в августе – месяце окончания релаксации травостоя от укуса и спокойного перехода его в осень. Максимальную роль в пространственной пестроте влияния температур на биоценоз в это время играют условия АМЛ. Далее по мере приближения к укусу наблюдается рост влияния агроландшафтных условий на продуктивность травостоя, при этом увеличивается роль как экспозиции, так и микрорландшафтов. В июле при интенсивном отрастании трав

после укуса наблюдается максимальное влияние ландшафтных условий на дифференциацию коэффициентов корреляции температуры и степени оптимальности произрастания культуры.

Заключение. Урожайность трав весьма существенно колеблется в пространстве агроландшафта. Максимальный выход сена с 1 га отмечен в центральных частях склонов (6,4 т/га), а минимальный – на вершине и в верхних частях склонов холма (5,2 т/га). Временная вариабельность урожайности трав во многом зависит от геологического строения почв – она возрастает при переходе от мощных двучленов к маломощным с 40 до 65 %.

Долговременный мониторинг состояния компонентов агроландшафта (в данном случае агроклимата и растительности) позволяет выявить основные черты его внутренней динамики. Различные подходы к формированию банка данных по урожайности культур дают возможность выявить разные аспекты протекания динамических процессов в АГС во времени и в пространстве. При сравнении в разных точках пространства временных рядов урожайности, выраженной разными способами, выявлено, что на склонах холмов воздействие агроклимата на урожай максимально.

Абсолютные показатели урожайности трав значительно сильнее зависят от изменчивости агроклимата, чем относительные, однако в обоих случаях максимальное влияние на урожайность оказывает изменчивость сумм активных температур. Основное воздействие на характер влияния температуры на абсолютный урожай оказывает гидроморфизм почв в различных ландшафтных условиях, который является проявлением феномена почвенной памяти в агроландшафте. Степень воздействия температур на урожайность, выраженную в относительных единицах, в основном зависит от характера водообмена (особенности АМЛ) в различных частях агроландшафта, а также от его энергетики (экспозиции склонов) и гранулометрического состава почв.

Новые знания, полученные при анализе результатов мониторинга, позволят разработать мероприятия по адаптивному размещению выводных полей в пределах хозяйств, а также по планированию мероприятий двойного регулирования водного режима почв и тепловых мелиораций.

Список литературы

1. Yakushev V. P., Yakushev V. V. Prospects for "smart agriculture" in Russia. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018;88(5):330-340. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331618040135>
2. Иванов Д. А. Виды динамики состояния мелиорированных агроландшафтов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;(4):14-18. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.04-18>
3. Иванова Н. Н., Капсамун А. Д., Амбросимова Н. Н. Кормовая и средообразующая роль пастбищных травостоев в условиях осушаемых почв Центрального Нечерноземья. Кормопроизводство. 2019;(4):14-17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37275406>
4. Кирюшин В. И. Концепция развития земледелия в Нечерноземье. СПб.: ООО «Квадро», 2020. 276 с.
5. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science. 2019;52(9):1137-1145. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
6. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Цыганова Н. А. Влияние ландшафтных условий на эффективность точной системы удобрения в звене полевого севооборота. Агрохимия. 2020;(2):69-76. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120020040>
7. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the effects of soil variability, topography, and management on the yield of barley. Frontier in Environmental. 2018;6:146. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00146>
8. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in Lower Austria. Eurasian soil science. 2020;53:503-511. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229320040079>
9. Эседуллаев С. Т., Нода Н. Б. Динамика агрохимических показателей дерново-подзолистых почв в агроландшафтах Верхневолжья и приемы воспроизводства их плодородия. Земледелие. 2020;(2):12-16. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10203>
10. Ivanov A. L., Shein E. V., Skvortsova E. B. Tomography of soil pores: from morphological characteristics to structural-functional assessment of pore space. Eurasian Soil Science. 2019;52(1):50-57. DOI: <https://doi.org/10.1134/S106422931901006X>
11. Bulgakov D. S., Rukhovich D. I., Shishkonakova E. A., Vil'chevskaya E. V. The application of soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. Eurasian Soil Science. 2018;51(4):448-459. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>

References

1. Yakushev V. P., Yakushev V. V. Prospects for "smart agriculture" in Russia. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018;88(5):330-340. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331618040135>
2. Ivanov D. A. *Vidy dinamiki sostoyaniya meliorirovannykh agrolandshaftov*. [Types of dynamics of the state of meliorated agrolandscapes]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;(4):14-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.04-18>
3. Ivanova N. N., Kapsamun A. D., Ambrosimova N. N. *Kormovaya i sredoobrazuyushchaya rol' pastbishnykh travostoev v usloviyakh osushaemykh pochv Tsentral'nogo Nечernozem'ya*. [Forage and environment-forming potential of pasture grasses on the drainage land of the Central Non-chernozem region]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2019;(4):14-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37275406>
4. Kiryushin V. I. *Kontseptsiya razvitiya zemledeliya v Nечernozem'e*. [The concept of the development of agriculture in the Non-Chernozem region]. Saint-Petersburg: ООО «Квадро», 2020. 276 p.
5. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science. 2019;52(9):1137-1145. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
6. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Tsyganova N. A. *Vliyanie landshaftnykh usloviy na effektivnost' tochnoy sistemy udobreniya v zvene polevogo sevooborota*. [Influence of landscape conditions on efficiency of precision fertilizer system in crop rotation link]. *Agrokhimiya*. 2020;(2):69-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120020040>
7. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the effects of soil variability, topography, and management on the yield of barley. Frontier in Environmental. 2018;6:146. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00146>
8. Komissarov M. A., Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in Lower Austria. Eurasian soil science. 2020;53:503-511. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229320040079>
9. Jesedullaev S. T., Noda N. B. *Dinamika agrokhimicheskikh pokazateley dernovo-podzolistykh pochv v agrolandshaftakh Verkhnevolszh'ya i priemy vosproizvodstva ikh plodorodiya*. [Dynamics of agrochemical indicators of sod-podzolic soils in agrolandscapes of the Upper Volga region and methods of reproduction of their fertility]. *Zemledelie*. 2020;(2):12-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10203>

10. Ivanov A. L., Shein E. V., Skvortsova E. B. Tomography of soil pores: from morphological characteristics to structural-functional assessment of pore space. Eurasian Soil Science. 2019;52(1):50-57.

DOI: <https://doi.org/10.1134/S106422931901006X>

11. Bulgakov D. S., Rukhovich D. I., Shishkonakova E. A., Vil'chevskaya E. V. The application of soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. Eurasian Soil Science. 2018;51(4):448-459. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>

Сведения об авторах

Иванов Дмитрий Анатольевич, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>

Карасева Ольга Васильевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Рублюк Мария Владимировна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

✉ **Анциферова Ольга Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ученый секретарь, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5494-710X>

Information about authors

Dmitry A. Ivanov, DSc in Agricultural science, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>

Olga V. Karaseva, PhD in Agricultural science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Maria V. Rublyuk, PhD in Agricultural science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

✉ **Olga N. Antsiferova**, PhD in Agricultural science, scientific secretary, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5494-710X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ / PLANT PROTECTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.230-238>
УДК 633.111.1:632.4:632.08



Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodorum* и поиск источников признака для селекции

© 2022. А. В. Харина✉, Т. К. Шешегова

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

В условиях Кировской области (2017-2021 гг.) изучали 67 сортов яровой мягкой пшеницы по степени устойчивости к септориозу листьев в полевых условиях на фоне естественного развития инфекции. В лабораторных условиях реакцию этих сортов пшеницы на патоген оценивали в начале онтогенеза растений (ювенильная устойчивость) в двух экспериментах: оценка в фазу 2-3 листьев (рулонная культура) и оценка признака на отсечённых листьях. Для инокуляции растений использовали местные штаммы *P. nodorum*, которые были изолированы с поражённых листьев яровой мягкой пшеницы в фазу «молочно-восковая спелость». У всех изолятов методом ПЦР установлена принадлежность к виду *P. nodorum*. Обоснованность использования лабораторных методов инокуляции растений *P. nodorum* для массовой оценки генофонда и целенаправленного поиска устойчивых к септориозу генотипов пшеницы основывается на достоверной (при $P \geq 0,95$) корреляции ($r = 0,57$) устойчивости в начале онтогенеза и у взрослого растения. У сортов, относящихся к одним и тем же группам по устойчивости и восприимчивости, взаимосвязь еще более тесная ($r = 0,69$; $r = 0,71$). Установлено, что при увеличении степени поражения в начале онтогенеза существенно ($r = -0,68$) снижается биомасса растения, в среднем по сортименту на 28 %. Особый интерес для селекции яровой пшеницы представляют сорта с наиболее благоприятным сочетанием низкой скорости нарастания инфекции и устойчивости к септориозу в течение онтогенеза. К таким сортам относятся: Туринская, Эгисар 29 (Россия), Mian Yong №1, Yan Shi 4, Jin Mai 71 (Китай), SSL 25-26, SSL 84-85, UL Alta Blanca (США).

Ключевые слова: септориоз листьев, иммунитет, рулонная культура, метод отсечённых листьев, бензимидазол

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0008).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Шешегова Т. К. Сравнительный анализ методов оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к *Parastagonospora nodorum* 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>

Поступила: 07.02.2022 Принята к публикации: 01.04.2022 Опубликована онлайн: 20.04.2022

Comparative analysis of methods of assessing spring soft wheat for resistance to *Parastagonospora nodorum* and search for sources of a trait for breeding

© 2022. Anastasia V. Kharina✉, Tatyana K. Sheshegova

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

In the conditions of Kirov region (2017-2021), 67 varieties of spring soft wheat were studied according to the degree of resistance to Septoria leaf blotch in the field against the background of the natural development of infection. Under laboratory conditions, the reaction of these wheat varieties to the pathogen was evaluated at the beginning of plant ontogenesis (juvenile resistance) in two experiments: assessment in the development phase of 2-3 leaves (roll culture) and evaluation of a trait on cut-off leaves. For inoculation of plants, local strains of *P. nodorum* were used. They were isolated from the affected leaves of spring soft wheat in the phase of milk-wax ripeness. All isolates have been identified by PCR as belonging to the species of *P. nodorum*. The validity of using laboratory methods of plant inoculation by *P. nodorum* for mass assessment of the gene pool and purposeful search for wheat genotypes resistant to Septoria is based on a reliable (at $P \geq 0.95$) correlation ($r = 0.57$) of resistance at the beginning of ontogenesis and in adult plants. Varieties belonging to one and the same groups in terms of resistance and susceptibility have an even closer relationship ($r = 0.69$; $r = 0.71$). It has been established that with an increase in the degree of affection at the beginning of ontogenesis, the biomass of the plant significantly ($r = -0.68$) decreases, on average by 28 % in the assortment. Of particular interest for breeding of spring wheat are varieties with the most favorable combina-

tion of low infection rate and resistance to Septoria leaf blotch during ontogenesis. These varieties include: Turinskaya, Egisar 29 (Russia), Mian Yong No.1, Yan Shi 4, Jin Mai 71 (China), SSL 25-26, SSL 84-85, UL Alta Blanca (USA).

Keywords: *Septoria leaf blotch, immunity, roll culture, method of cut-off leaves, benzimidazole*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0008).

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 citations: 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>

Received: 07.02.2022

Accepted for publication: 01.04.2022

Published online: 20.04.2022

В течение длительного периода времени одной из наиболее распространённых и вредоносных болезней яровой мягкой пшеницы является септориоз (*Septoria tritici* Desm., современное название – *Zymoseptoria tritici* (Desm.) и *Stagonospora nodorum* (Berk.). Виды отличаются по биологическим требованиям к климатическим условиям среды, поэтому *S. tritici* чаще встречается в более теплых южных регионах РФ, *S. nodorum* – в северных и восточных [1]. Согласно многолетним исследованиям, на северо-востоке Европейской части России основным возбудителем септориоза пшеницы является *S. nodorum*, в Волго-Вятском регионе его встречаемость в видовой структуре возбудителей составляет 59,7-64,4 %. Кроме того, *S. 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* в конкретных региональных исследованиях [4, 5]. Заболевание провоцирует преждевременное усыхание листьев, снижается их ассимиляционная поверхность и фотосинтетическая активность [5]. Формирование зерна проходит только за счёт колоса и стебля, что приводит к снижению массы 1000 зёрен, натуры и выполненности. Продуктивность снижается на 25-56 %, энергия прорастания и всхожесть зерна падает на 7-12 % [6, 7, 8, 9].

Биологическая эффективность выращивания устойчивых к септориозу сортов достигает 98,5 % [6]. Поэтому современная программа селекции яровой пшеницы на устойчивость к этой болезни должна быть направлена, прежде всего, на расширение генетического разнообразия исходного материала [10, 11]. Поиск источников признака является начальным этапом создания устойчивых сортов, так как выделенные ранее источники со временем теряют эффективность, и появляется необходимость поиска

новых резистентных форм [11, 12, 13, 14, 15]. Эти исследования основываются на разработке и улучшении методов выявления устойчивых генотипов, повышении надёжности и производительности экспериментов. Известно, что в селекции на фитоиммунитет особое значение имеет поиск и отбор устойчивых генотипов уже на ранних стадиях онтогенеза растений. Исследования в камеральных условиях снижают напряженность работ в летний период и отчасти ускоряют селекционный процесс [16, 17]. Кроме того, создание искусственных инфекционных фонов в полевых условиях сопряжены с дополнительной наработкой биоматериала, сложностью контролирования жесткости фона во времени и пространстве, а также с высокими неконтролируемыми взаимодействиями «генотип-среда» и «патоген-среда» [18]. Камеральные методы тестирования исключают эти негативные факторы и обеспечивают получение объективной нормы реакции генотипа на патоген.

Цель исследований. Оценивая перспективы селекции яровой пшеницы на устойчивость к септориозу листьев, возникает необходимость в сравнительном анализе разных методов инокуляции растений *Parastagonospora nodorum* для обоснования использования их в селекционно-иммунологических исследованиях и поиске эффективных в разные стадии онтогенеза источников.

Новизна исследований заключается в получении научных данных по возможности использования лабораторных методов инокуляции растений *P. nodorum* для первичной оценки селекционного материала яровой пшеницы на устойчивость к септориозу листьев.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2017-2021 гг. Материалом являлись 67 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов

растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), высеянных в коллекционном питомнике на делянках 1,0 м² в 2-кратной повторности.

Тестирование генофонда пшеницы по возрастной устойчивости к септориозу проводили в фазу «молочная спелость зерна», т. е. в период наибольшего развития болезни, но до начала естественного отмирания листьев. Объем выборки для анализа – не менее 20 растений каждого сорта в 2-кратной повторности.

Для характеристики устойчивости изучаемых сортов пшеницы к септориозу использовали методику¹ и предлагаемую авторами шкалу:

RR – очень высокая устойчивость (степень поражения 0-5 %);

R – устойчивость (6-15 %);

M – умеренная восприимчивость (16-25 %);

S – восприимчивость (26-65 %);

SS – высокая восприимчивость (66-100 %).

В лабораторных условиях реакцию изучаемых 67 сортов пшеницы на патоген оценивали в начале онтогенеза растений (ювенильная устойчивость) в двух экспериментах: в фазу 2-3 листьев (рулонная культура); на отсечённых листьях.

Первый эксперимент проводили на двух фонах: контроль (без инфекции) и опыт (*P. nodorum*). На обоих фонах семена перед закладкой опыта в течение 5 мин. замачивали в 1-2%-ном растворе K₂MnO₄ для исключения влияния на растительно-микробные взаимодействия *Triticum aestivum* – *P. nodorum* поверхностной сапрофитной микрофлоры. Растения, выращенные в рулонах фильтровальной бумаги с использованием раствора Кнопа, в фазу 1-3 листьев опрыскивали суспензией местных изолятов *P. nodorum* в концентрации 1 × 10⁶ спор/мл и расходе инокулята – 100 мл/м² [19]. Перед нанесением в суспензию добавляли каплю поверхностно-активного вещества Твин 20. В контрольном варианте растения опрыскивали водой. Учет септориоза листьев проводили в динамике развития болезни для выявления сортов, характеризующихся устойчивостью и медленным нарастанием инфекции (*slow rusting*). Первую оценку проводили на третий день после заражения, т. е. при появлении первых симптомов болезни, а последующие – каждые 3 дня до начала естественного отмирания листьев. Далее рассчитывали пока-

затель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), который является основным критерием неспецифической устойчивости [14]:

$$\text{ПКРБ} = \frac{1}{2} (X_1 + X_2) \times (t_2 - t_1) + \dots + (X_{n-1} + X_n) \times (t_n + t_{n-1}),$$

где X₁ – интенсивность развития болезни в первый учёт, %;

X₂ – интенсивность развития болезни во второй учёт, %;

X_n – интенсивность развития болезни в последний учёт, %;

t₂ - t₁ – количество дней между первым и вторым учётом,

t_n + t_{n-1} – количество дней между последним и предпоследним учётом.

Негативное влияние *P. nodorum* на биомассу растений каждого сорта оценивали после взвешивания их при последнем учёте и отражали в процентах к контролю.

Во втором лабораторном эксперименте использовали универсальную общеизвестную методику оценки степени поражения отсечённых листьев, помещённых в чашки Петри на 0,004 % раствор бензимидазола². Для этого у 14-дневных проростков каждого сорта отсекали отрезки листьев длиной 3,5-4,0 см и с помощью пульверизатора инокулировали тем же титром споровой суспензии *P. nodorum*. У каждого сорта оценивали по 10 листьев в 3-кратной повторности. Учет болезни проводили однократно при четких проявлениях септориозных пятнистостей и до начала естественного отмирания листьев [20]. Этот метод особенно актуален при недостатке инфекционного биоматериала и массовой оценке генофонда.

В обоих лабораторных экспериментах для инокуляции растений использовали местные штаммы *P. nodorum*, которые были изолированы с поражённых листьев яровой мягкой пшеницы на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в фазу «молочно-восковая спелость». Для подтверждения видовой идентификации ДНК восемь местных изолятов гриба подвергали ПЦР-анализу в режиме реального времени, используя коммерческую тест-систему «Септориоз злаков (*Stagonospora nodorum*)» («Агродиагностика», Россия). У всех изолятов установлена принадлежность к виду *P. nodorum*. Для инокуляции использовали 3 штамма (ТС, Н-9 и TR-1) с высокими параметрами патогенности и споруляции.

¹Пыжиков Г. В., Санина А. А., Супрун Л. М., Курахтанова Т. И., Гогаева Т. И., Мепаришвили С. У., Анциферова Л. В., Кузнецов Н. С., Игнатов А. Н., Кузьмичев А. А. Методы оценки устойчивости селекционного материала и сортов пшеницы к септориозу. М., 1989. 43 с.

²Михайлова Л. А., Квитко К. В. Лабораторные методы культивирования возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondite* f. sp. tritici Rob. Ex Desm. Микология и фитопатология. 1970;4:269-273.

Полученные данные статистически обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову³ с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследований. Погодные условия в годы полевых исследований были в целом провокационными для развития видов *Septoria spp.*, о чем косвенным образом свидетельствует уровень гидротермического коэффициента в период «выход в трубку-молочная спелость», который варьировал от 1,89 до 2,13. Исследованиями [1] установлена тесная связь между развитием септориоза и интенсивностью осадков в этот период. В этих условиях степень поражения индикаторных сортов (наиболее восприимчивых) достигала 82 %, что характеризует естественный инфекционный фон патогена в годы исследований как достаточно жесткий для получения объективной оценки генотипа.

Изучение коллекционного генофонда яровой пшеницы в полевых условиях показало, что высокой возрастной устойчивостью к септориозу характеризовались лишь три сорта: Ерос, Терция и Нива 2, степень поражения которых за годы исследований не превышала 5,0 %. К устойчивым отнесены сорта: Форс, Скала, Тобольская, Красноярская 12, Тюменская 29, Московская 35, Новосибирская 18, Воронежская 20, Сигма, Уральская кукушка, Сибирская 21, Long Chun 8, Yun Mai 27, Yun Mai 35 и Xenos. Большинство сортов (31,5 %) проявили умеренную восприимчивость к болезни, а сорта Бурятская 551 и Коринта – восприимчивость [21].

В лабораторном эксперименте степень поражения контрольных растений на конец опыта составила в среднем по сортименту 5,7 %. Наличие симптомов болезни на инокулированных растениях обусловлено, вероятно, внутренней семенной инфекцией, поскольку легкое обеззараживание K_2MnO_4 снимает только поверхностную инфекцию. Однако известно, что даже полноценное протравливание семян часто не убивает внутрисеменную инфекцию, поскольку она может быть локализована во внутренних слоях перикарпия или в зародыше [22]. Степень поражения инокулированных растений к последнему учету септориоза составила в среднем по сортименту 41,5 % при состоянии признака у индикатор-

ного сорта 71,8 % (табл. 1). Наибольшая часть изучаемых сортов (86,6 %) в стадии проростков была отнесена к восприимчивым, в том числе стандарты Каменка и Баженька. Устойчивость проявили только два сорта: UL Alta Blanca и Mian Yong №1, а умеренной восприимчивостью характеризовались четыре: Yan Shi 4, Jin Mai 71, SSL 25-26, SSL 84-85. Степень поражения их при инокуляции была на уровне 12,1-25,8 %, что достоверно выше контроля.

Вредоносность септориозной инфекции в начале онтогенеза растений выразилась в существенном (при $P \geq 0,05$) снижении биомассы на фоне инокуляции *P. nodorum*. Между контрольным и инфекционным фоном по этому показателю установлена достоверная (при $P \geq 0,05$) корреляционная зависимость ($r = -0,68$).

Характер нарастания инфекции на разных по восприимчивости сортах пшеницы наглядно показан на рисунке. Степень поражения листьев между наиболее устойчивым к септориозу китайским сортом Mian Yong №1 и индикатором Тулайковская надежда при всех учетах отличалась на 35,7-59,7 %.

Суммарной оценкой интенсивности нарастания инфекции является относительный показатель ПКРБ. Чем больше его значение, тем интенсивнее степень поражения у конкретного сорта. В наших исследованиях состояние ПКРБ у изучаемого генофонда пшеницы варьировало в значительных пределах – от 74 до 518 единиц. Практический интерес для селекции представляют, наряду со слабопоражаемыми формами, сорта, характеризующиеся медленным нарастанием септориоза (slow rusting) в сортовых биоценозах, что позволяет им сохранять высокие параметры фотосинтетических пигментов (хлорофилл *a*, *b*, каротиноиды) достаточно длительное время. Принято считать, что оптимизация работы фотосинтетического аппарата способствует росту продуктивности растений до 60 % [23].

В наших исследованиях относительно медленное нарастание степени поражения листьев при искусственной инокуляции *P. nodorum* выявлено у сортов, данных в таблице 2. Особую селекционную ценность представляют сорта: Mian Yong №1, SSL 84-85, SSL 25-26, UL Alta Blanca, Yan Shi 4, Jin Mai 71, Туринская и Эгисар 29 с высоким уровнем устойчивости во все периоды учета болезни и относительно низким значением ПКРБ.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

Таблица 1 – Сорта яровой мягкой пшеницы с ювенильной устойчивостью к септориозу листьев (рулонная культура) /

Table 1 – Spring soft wheat varieties with juvenile to Septoria leaf blotch (roll culture)

Сорт / Variety	Происхождение / Origin	Степень поражения, % / Degree of affection, %		Масса растений, г / Weight of plants, g	
		без инокуляции / without inoculation	при инокуляции / during inoculation	без инокуляции / without inoculation	при инокуляции / during inoculation
Баженька – ст. / Bazhenka – st.	Кировская обл. / Kirov region	18,6	59,7	0,26	0,26
Каменка – ст. / Kamenka – st.	Владимирская обл. / Vladimir region	10,1	51,2	0,29	0,28
Туринская / Turinskaya	Тюменская обл. / Tyumen region	2,5	22,3	0,36	0,28
Эгисар 29 / Egisar 29	Самарская обл. / Samara region	7,8	22,2	0,38	0,34
Mian Yong № 1	Китай / China	3,3	12,1	0,36	0,34
Yan Shi 4		0,0	17,4	0,39	0,27
Jin Mai 71		2,5	21,1	0,31	0,28
UL Alta Blanca	США / USA	2,5	14,3	0,32	0,25
SSL 25-26		2,2	25,8	0,30	0,24
SSL 84-85		12,1	25,8	0,23	0,21
Тулайковская надежда – индикатор / Tulajkovskaya nadezhda – indicator	Самарская обл. / Samara region	26,7	71,8	0,29	0,19
Среднее по опыту / Average by the experiment		5,7	41,5	0,32	0,23
HCP ₀₅ (фон) / LSD ₀₅ (background)		2,1		0,08	
HCP ₀₅ (сорт) / LSD ₀₅ (variety)		9,1		0,32	

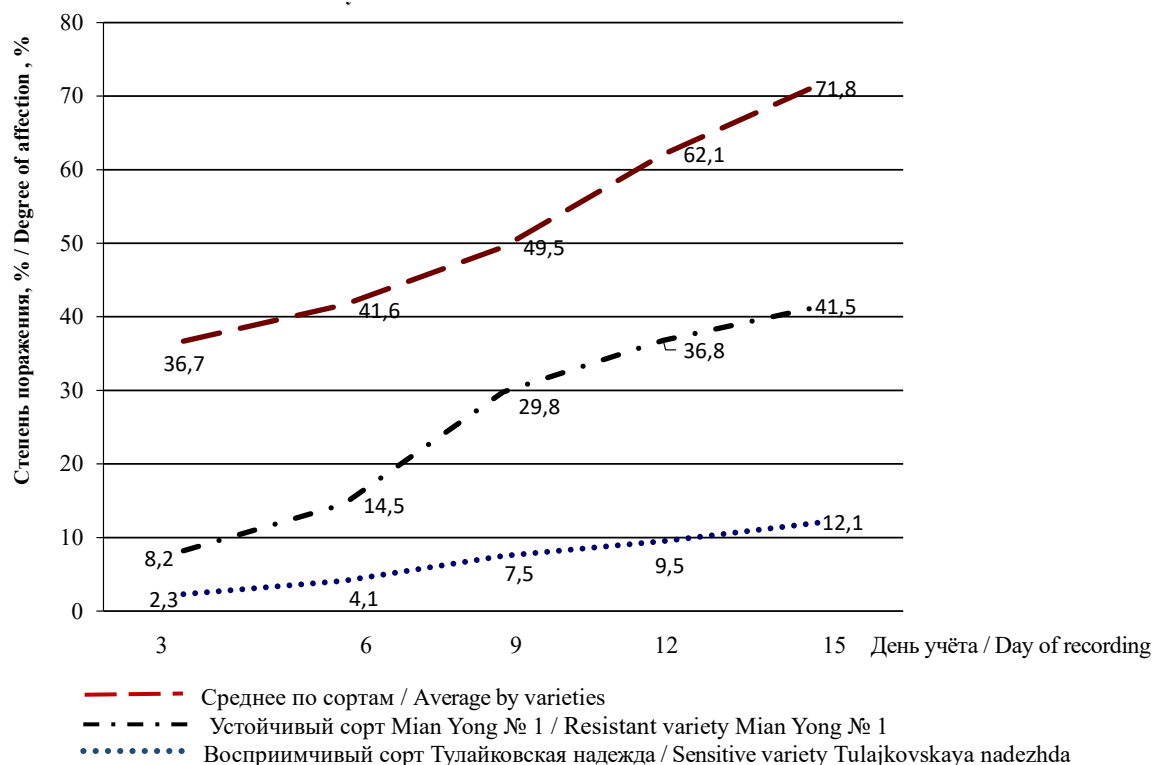


Рис. Динамика нарастания септориоза на разных по восприимчивости сортах яровой мягкой пшеницы в лабораторном опыте (рулонная культура) /

Fig. Dynamics of Septoria disease growth on varieties of spring soft wheat with different susceptibility rates in laboratory test (roll culture)

Таблица 2 – Сорты яровой мягкой пшеницы с замедленным развитием септориоза листьев в лабораторном опыте (рулонная культура) /

Table 2 – Spring soft wheat varieties with slow development of Septoria leaf blotch in laboratory test (roll culture)

<i>Copt / Variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>	<i>Степень поражения в день учёта, % / Degree of affection on the day of recording, %</i>					<i>ПКРБ / Area under disease progress curve</i>
		3	6	9	12	15	
Баженька – ст. / Bazhenka – st.	Кировская обл. / Kirov region	20,4	22,8	28,0	39,8	59,7	340
Каменка – ст. / Kamenka – st.	Владимирская обл. / Vladimir region	14,1	17,1	34,6	44,5	51,2	343
Туринская / Turinskaya	Тюменская обл. / Tyumen region	5,8	6,2	7,5	15,3	22,3	107
Эгисар 29 / Egisar 29	Самарская обл. / Samara region	10,2	14,9	19,0	20,9	22,2	176
Mian Yong № 1	Китай / China	2,3	4,1	7,5	9,5	12,1	74
Yan Shi 4		6,5	6,9	8,8	10,1	17,4	104
Jin Mai 71		6,2	8,3	9,7	17,5	21,1	117
UL Alta Blanca	США / USA	7,5	8,2	10,0	11,9	14,3	104
SSL 25-26		11,7	17,3	22,6	24,1	25,8	207
SSL 84-85		19,1	20,4	22,1	23,8	25,8	222
Тулайковская надежда – индикатор / Tulajkovskaya nadezhda – indicator	Самарская обл. / Samara region	36,7	43,5	49,5	66,8	71,8	519
Среднее по опыту / Average by the experiment		14,5	22,2	29,8	37,6	41,5	-

Таблица 3 – Сравнение методов оценки яровой мягкой пшеницы по степени поражения септориозом листьев на примере наиболее устойчивых сортов, % /

Table 3 – Comparison of methods for evaluating spring soft wheat varieties by the degree of affection with Septoria leaf blotch the case of the most resistible varieties, %

<i>Copt / Variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>	<i>В полевых условиях / In field</i>	<i>В лабораторных экспериментах / In laboratory experiments</i>	
			<i>на отсечённых листьях / on the cut-off leaves</i>	<i>в фазу 2-3 листьев / in the phase of 2-3 leaves</i>
Баженька – ст. / Bazhenka -st.	Кировская обл. / Kirov region	17,6	37,5	59,7
Каменка – ст. / Kamenka – st.	Владимирская обл. / Vladimir region	6,5	30,5	51,2
Mian Yong № 1	Китай / China	15,2	0,7	12,1
UL Alta Blanca	США / USA	14,3	15,0	14,3
Туринская / Turinskaya	Тюменская обл. / Tyumen Region	22,3	23,1	22,3
Эгисар 29 / Egisar 29	Самарская обл. / Samara Region	22,2	20,8	22,2
Yan Shi 4	Китай / China	17,4	16,1	17,4
Jin Mai 71		21,1	22,8	21,1
SSL 25-26	США / USA	25,8	24,6	25,8
SSL 84-85		25,8	24,8	25,8
Тулайковская надежда – индикатор / Tulajkovskaya nadezhda – indicator	Самарская обл. / Samara region	32,5	70,8	71,8
Среднее по опыту / Average by the experiment		27,4	23,7	41,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		20,8	17,7	16,1

Второй лабораторный метод оценки на отсеченных листьях выявил лишь 4 устойчивых к септориозу сорта: Mian Yong № 1, Терция, UL Alta Blanca, Yan Shi 4. Устойчивость трех из них (Mian Yong № 1, UL Alta Blanca, Yan Shi 4) подтверждается как лабораторными экспериментами, так и изучением в полевых условиях (табл. 3).

Обоснованность использования лабораторных методов инокуляции растений *P. nodorum* для массовой оценки генофонда и целенаправленного поиска устойчивых к септориозу генотипов пшеницы основывается на достоверной (при $P \geq 0,95$) корреляции ($r = 0,57$) устойчивости в начале онтогенеза и у взрослого растения. У сортов, относящихся к одним и тем же группам по устойчивости и восприимчивости, взаимосвязь еще более тесная ($r = 0,69$; $r = 0,71$).

Заключение. Таким образом, в результате сравнительного анализа методов инокуляции и оценки яровой пшеницы на устойчивость к септориозу установлена достоверная корреляционная связь среднего и тесного типа между оценкой генофонда в полевых условиях

и лабораторных тестах с инокуляцией растений *Parastagonospora nodorum*.

Выявленные взаимосвязи свидетельствуют, что в большинстве случаев данные по устойчивости проростков можно экстраполировать на устойчивость яровой пшеницы к септориозу листьев во взрослой стадии, что особенно важно в системе косвенного отбора. Поэтому лабораторный экспресс-метод можно считать основанием для первичной оценки исходного материала на устойчивость к этой болезни и отбора иммунных и высокоустойчивых растений.

Повышенный интерес для практической селекции представляют наиболее устойчивые к *Parastagonospora nodorum* сорта: UL Alta Blanca, Mian Yong №1, Yan Shi 4, Jin Mai 71, Туринская Эгисар 29, SSL 25-26, SSL 84-85. Они отличаются также замедленным развитием болезни. Среди них UL Alta Blanca, Mian Yong №1, Yan Shi 4 характеризуются устойчивостью к болезни в стадии проростков и взрослого растения.

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://www.elibrary.ru/item.asp?id=23077289>
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>
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. Downie R. C., Lin M., Corsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R. P., Phan H. T. T., Tan K.-Ch., Cockram J. *Septoria nodorum* blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment. Phytopathology. 2021;111(6):906-920. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW>
5. Phan H. T. T., Furuki E., Hunziker L., Rybak K., Tan K.-Ch. GWAS analysis reveals distinct pathogenicity profiles of Australian *Parastagonospora nodorum* isolates and identification of marker-trait-associations to septoria nodorum blotch. Sci Rep. 2021;11(1):10085. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87829-0>
6. Волкова Л. В., Шешегова Т. К. Урожайность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой пшеницы при поражении септориозом. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019;(3):17-25. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-17-25>
7. Торопова Е. Ю., Казакова О. А., Селюк М. П. Мониторинг септориоза яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(12):33-35. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147485>
8. Кондратенко Е. П., Егушова Е. А., Косолапова А. А., Сергеева И. А., Яковченко М. А. Сравнительная характеристика урожайности и качества зерна сортов яровой пшеницы на серых лесных почвах. Вестник КрасГАУ. 2016;(6):105-112. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26178709>
9. Fones H., Gurr S. The impact of *Septoria tritici* blotch disease on wheat: An EU perspective. Fungal Genetics and Biology. 2015;79:3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>
10. Mehra L. K., Adhikari U., Ojiambo P. S. *Septoria nodorum* blotch of wheat. *The Plant Health Instructor*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2019-0514-01>
11. Phan H. T. T., Rybak K., Bertazzoni S., Furuki E., Dinglasan E., Hickey L. T., Oliver R. P., Tun K.-Ch. Novel sources of resistance to *Septoria nodorum* blotch in the Vavilov wheat collection identified by genome-wide association studies. Theoretical and Applied Genetics. 2018;131(6):1223-1238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3073-y>
12. Санин С. С., Санина А. А., Мотовилин А. А., Пахолкова Е. В., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М. Защита пшеницы от септориоза. Защита и карантин растений. 2012;(4):61-82.
13. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Скатынок О. О., Пахолкова Е. В. Создание генбанка источников устойчивости сортов пшеницы к септориозу. Защита и карантин растений. 2015;(7):44-46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23688479>

14. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорты пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции Grin (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):561-569. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.561rus>
15. Пожерукова В. Е., Шаманин В. П., Гладких М. С., Чурсин А. С., Гултыяева Е. И. Оценка коллекции сортов сети КАСИБ в условиях Южной лесостепи Западной Сибири. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019;1(33):30-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37367918>
16. Шаманин В. П., Потоцкая И. В. Иммунологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы селекционного питомника КАСИБ. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016;2(22):5-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26583991>
17. Агеева Е. В., Лихенко И. Е., Советов В. В. Оценка сортов и линий мягкой яровой пшеницы Казахстанско-Сибирского питомника в условиях лесостепи Новосибирской области. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018;4(32):5-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36708234>
18. Тырышкин Л. Г. Ювенильная устойчивость сортов зерновых культур к болезням. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018;50(3):37-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741853>
9. Тырышкин Л. Г., Темирбекова С. К., Кудрявцева Е. Ю., Зуев Е. В. Эффективная ювенильная устойчивость образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР к листовой ржавчине и темно-бурым листовым пятнистостям. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;3(3):18-23. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/3/18-23>
20. Яруллина Л. Г., Касимова Р. И., Шпирная И. А., Ахатова А. Р., Ибрагимов Р. И. Сравнительное изучение устойчивости к септориозу и физиологических показателей у разных сортов пшеницы. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013;15(3-5):1536-1540. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21475415>
21. Харина А. В., Шешегова Т. К. Поиск устойчивого к септориозу исходного материала яровой мягкой пшеницы и анализ наследования признака. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):212-222. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.212-222>
22. Монастырский О. А. Токсикообразующие грибы и микотоксины. Защита и карантин растений. 2006;(11):18-20.
23. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by target genetic manipulation: progress and challenges. Fild. Crop. Research. 2015;182:19-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.009>

References

1. Sanin S. S., Korneva L. G., Polyakov T. M. *Prognoz riska razvitiya epifitotiy septorioza list'ev i kolosa pshenitsy*. [Forecast of risk of development of epiphytotic of a septoria leaf blotch of leaves and ear of wheat]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(3):33-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23077289>
2. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh A. A. *Septorioz list'ev i kolosa pshenitsy: geneticheskii kontrol' ustoychivosti khozyaina (obzor)*. [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., Strizhekozina Yu. A., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M., Kaporova T. I. *Fitosanitarnaya obstanovka na posevakh pshenitsy v Rossiyskoy Federatsii (1991-2008 gg.)*. [Phytosanitary situation in wheat crops in the Russian Federation (1991-2008)]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(2):70-80. (In Russ.).
4. Downie R. C., Lin M., Corsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R. P., Phan H. T. T., Tan K.-Ch., Cockram J. *Septoria nodorum* blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment. *Phytopathology*. 2021;111(6):906-920. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW>
5. Phan H. T. T., Furuki E., Hunziker L., Rybak K., Tan K.-Ch. GWAS analysis reveals distinct pathogenicity profiles of Australian *Parastagonospora nodorum* isolates and identification of marker-trait-associations to septoria nodorum blotch. *Sci Rep*. 2021;11(1):10085. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87829-0>
6. Volkova L. V., Sheshegova T. K. *Urozhaynost' i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh yarovoy pshe-nitsy pri porazhenii septoriozom*. [Crop yield and concentration of photosynthetic pigments in the leaves of the spring wheat when suffering from septoria blight]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019;(3):17-25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-52-3-17-25>
7. Toropova E. Yu., Kazakova O. A., Selyuk M. P. *Monitoring septorioza yarovoy pshenitsy v lesostepi Zapadnoy Sibiri*. [Monitoring of septoria blight on spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(12):33-35. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147485>
8. Kondratenko E. P., Egushova E. A., Kosolapova A. A., Sergeeva I. A., Yakovchenko M. A. *Sravnitel'naya kharakteristika urozhaynosti i kachestva zerna sortov yarovoy pshenitsy na serykh lesnykh pochvakh*. [Comparative characteristics of yield and grain quality of spring wheat varieties on gray forest soils]. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2016;(6):105-112. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26178709>
9. Fones H., Gurr S. The impact of Septoria tritici blotch disease on wheat: An EU perspective. *Fungal Genetics and Biology*. 2015;79:3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>
10. Mehra L. K., Adhikari U., Ojiambo P. S. Septoria nodorum blotch of wheat. *The Plant Health Instructor*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2019-0514-01>
11. Phan H. T. T., Rybak K., Bertazzoni S., Furuki E., Dinglasan E., Hickey L. T., Oliver R. P., Tan K.-Ch. Novel sources of resistance to Septoria nodorum blotch in the Vavilov wheat collection identified by genome-wide association studies. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(6):1223-1238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3073-y>
12. Sanin S. S., Sanina A. A., Motovilina A. A., Pakholkova E. V., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M. *Zashchita pshenitsy ot septorioza*. [Protection of wheat from Septoria leaf blotch]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012;(4):61-82. (In Russ.).

13. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Skatenok O. O., Pakholkova E. V. *Sozdanie genbanka istochnikov ustoychivosti sortov pshenitsy k septoriozu*. [Creation of genebank of wheat resistance sources to septoria disease]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2015;(7):44-46. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23688479>
14. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. *Sorta pshenitsy (Triticum L.) iz kolleksii Grin (SSHA) dlya ispol'zovaniya v seleksii na dlitel'nyuyu ustoychivost' k septoriozu*. [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>
15. Pozherukova V. E., Shamanin V. P., Gladkikh M. S., Chursin A. S., Gul'tyaeva E. I. *Otsenka kolleksii sortov seti KASIB v usloviyakh Yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri*. [Evaluation of KASIB network varieties collection in the conditions of southern forest-steppe of Western Siberia]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2019;(1(33)):30-37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37367918>
16. Shamanin V. P., Pototskaya I. V. *Immunologicheskaya otsenka sortov yarovoy myagkoy pshenitsy selektsionnogo pitomnika KASIB*. [Immunological evaluation of spring bread wheat varieties of breeding nursery KASIB]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2016;(2(22)):5-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26583991>
17. Ageeva E. V., Likhnenko I. E., Sovetov V. V. *Otsenka sortov i liniy myagkoy yarovoy pshenitsy Kazakhstansko-Sibirskogo pitomnika v usloviyakh lesostepi Novosibirskoy oblasti*. [Assessment of varieties and lines of soft spring wheat of the Kazakhstan-Siberian nursery in the conditions of the forest-steppe of the Novosibirsk region]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*. 2018;(4(32)):5-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36708234>
18. Tyryshkin L. G. *Yuvenil'naya ustoychivost' sortov zernovykh kul'tur k boleznyam*. [Uvenile resistance of cereal crop varieties to diseases]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018;1(50):37-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741853>
19. Tyryshkin L. G., Temirbekova S. K., Kudryavtseva E. Yu., Zuev E. V. *Effektivnaya yuvenil'naya ustoychivost' obraztsov yarovoy myagkoy pshenitsy iz kolleksii VIR k listovoy rzhavchine i temno-buroy listovoy pyatnistosti*. [Effective juvenile resistance of spring soft wheat samples from the VIR collection to leaf rust and dark brown leaf spot]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2021;(3):18-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/3/18-23>
20. Yarullina L. G., Kasimova R. I., Shpirnaya I. A., Akhatova A. R., Ibragimov R. I. *Sravnitel'noe izuchenie ustoychivosti k septoriozu i fiziologicheskikh pokazateley u raznykh sortov pshenitsy*. [Comparative research of resistance to septoria and physiological features in different wheat variety]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3-5):1536-1540. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21475415>
21. Kharina A. V., Sheshhegova T. K. *Poisk ustoychivogo k septoriozu iskhodnogo materiala yarovoy myagkoy pshenitsy i analiz nasledovaniya priznaka*. [Search for the parent material of spring soft wheat resistant to septoria tritici blotch and analysis of the trait inheritance]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2):212-222. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.212-222>
22. Monastyrskiy O. A. *Toksinoobrazuyushchie griby i mikotoksiny*. [Toxin-forming fungi and mycotoxins]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2006;(11):18-20. (In Russ.).
23. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: progress and challenges. *Fild. Crop. Research*. 2015;182:19-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.009>

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, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

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

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., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Tatiana K. Sheshhegova, Doctor of Biological Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Immunity and Protection of Plants, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.239-247>
УДК 633.11:631.84



Влияние минеральных удобрений на урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья

© 2022. Т. А. Барковская ✉, О. В. Гладышева, В. Г. Кокорева

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Исследования проводили с целью выявления отзывчивости пяти сортов яровой мягкой пшеницы на применение минеральных удобрений и особенности формирования элементов структуры урожайности. Работа проведена в 2019–2021 гг. на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве в Рязанской области. Схема опыта: $N_0P_0K_0$ (контроль); $N_{64}P_{64}K_{64}$; $N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$; $N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30} + N_{15}$. За годы исследований урожайность в опыте варьировала от 2,45 до 5,57 т/га в зависимости от условий вегетации, внесенных минеральных удобрений и сорта. Применение минерального фона $N_{64}P_{64}K_{64}$ способствовало существенному увеличению продуктивности сортов на 1,02–1,69 т/га. Наиболее отзывчивыми на улучшение фона минерального питания были сорта Маэстро, Арсея и Агата, урожайность в сравнении с контролем увеличилась на 48, 42 и 39 % соответственно. Все сорта, за исключением Маэстро, положительно отреагировали на подкормку азотом в фазу кущения (N_{30}), увеличив урожайность на 0,48–0,62 т/га. Наилучшим образом использовали дополнительный азот (N_{30}) сорта РИМА, Лада и Агата, прибавка к фону $N_{64}P_{64}K_{64}$ составила 15, 12 и 11 % соответственно. Выявлено, что под воздействием дополнительного азота (N_{30}) у сортов увеличивался стеблестой на 7,3–11,2 %, число колосков в колосе – на 1,3–4,7 %, число зерен в колосе – на 0,3–12,3 %, масса зерна с колоса на 0,9–21,4 %. Применение второй подкормки азотом в фазу «выход в трубку» (N_{15}) привело к снижению продуктивности, особенно у сортов Лада и Арсея на 7,9–9,5 %. Сорт Маэстро показал себя как индифферентный к азотным подкормкам. Полученные данные будут использованы при корректировке сортовых технологий возделывания яровой пшеницы.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., азотное удобрение, элементы технологии, продуктивность, структура урожая, прибавка урожая

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема FGUN-2022-0013).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):239–247. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.239-247>

Поступила: 09.03.2022

Принята к публикации: 01.04.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Effect of mineral fertilizers on the yield of spring soft wheat varieties in the conditions of the Central Non-Chernozem Region

© 2022. Tatyana A. Barkovskaya ✉, Olga V. Gladysheva, Valeria G. Kokoreva

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The studies were carried out in order to identify the responsiveness of five varieties of spring wheat to the variants with applying mineral fertilizers and to study the specific features of the formation of elements of the yield structure. The work was carried out in 2019–2021 on dark gray forest heavy loamy soil in the Ryazan region. The experiment scheme was: $N_0P_0K_0$ (control); $N_{64}P_{64}K_{64}$; $N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$; $N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30} + N_{15}$. Over the years of the research, the yield in the experiment varied from 2.45 to 5.57 t/ha, depending on the growing conditions, mineral fertilizers and variety. The use of the mineral background $N_{64}P_{64}K_{64}$ contributed to a significant increase in the productivity of varieties by 1.02–1.69 t/ha. The most responsive to the improvement of the background of mineral nutrition were varieties Maestro, Arsey and Agata, the yield increased by 48, 42 and 39 %, respectively, in comparison with the control. All varieties, with the exception of Maestro, reacted positively to nitrogen fertilization in the tillering phase (N_{30}), increasing the yield by 0.48–0.62 t/ha. The supplementary nitrogen of RIMA, Lada, and Agata varieties was used in the best way; the addition of $N_{64}P_{64}K_{64}$ to the background was 15, 12, and 11 %, respectively. It was revealed that under the influence of additional nitrogen (N_{30}) in varieties, the plant stand increased by 7.3–11.2 %, the number of spikelets – by 1.3–4.7 %, the number of grains – by 0.3–12.3 %, grain weight per ear – by 0.9–21.4 %. The use of the second fertilizing with nitrogen in the booting phase (N_{15}) led to a decrease in productivity, especially in Lada and Arsey varieties – by 7.9–9.5 %. Variety Maestro proved to be indifferent to nitrogen fertilizing. The data obtained will be used in the adjustment of varietal technologies for the cultivation of spring wheat.

Keywords: *Triticum aestivum* L., nitrogen fertilizer, elements of technology, productivity, yield structure, yield increase

Acknowledgements: The research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme FGUN-2022-0013). 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 citations: Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G Effect of mineral fertilizers on the yield of spring wheat varieties in the conditions of the Central Non-Chernozem Region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):239-247. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.239-247>

Received: 09.03.2022 Accepted for publication: 01.04.2022 Published online: 20.04.2022

Зерно мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) является базисным продуктом при производстве большого ассортимента продовольствия и кормов в мировом масштабе. Выращивание, а также экспорт пшеничного зерна в России находится на ведущем месте и в дальнейшем это направление должно развиваться [1].

Над увеличением урожайности культуры в сельскохозяйственном производстве в нашей стране длительное время трудится целое научное сообщество. К примеру, были разработаны зональные системы удобрения яровой пшеницы, в том числе и для условий Нечернозёмной зоны [2, 3]. При этом следует отметить, что в производстве без учета конкретных почвенно-климатических и агротехнических условий, биологических особенностей современных сортов и их отзывчивости на элементы питания прежние рекомендации не могут быть использованы в полной мере [4, 5].

В настоящее время, по мнению многих исследователей, увеличение продуктивности неотделимо от использования сортовых агротехнологий [6, 7, 8]. В свою очередь рациональное применение различных средств химизации, в т.ч. удобрений, как составной части агротехнологии, является ключевым рычагом интенсификации земледелия наряду с сортом [9, 10]. Важнейшей задачей становится обоснование оптимальных экономически выгодных норм внесения удобрений с поправкой на генетическую специфику корневого питания конкретного сорта, что позволяет повысить их окупаемость и рентабельность производства зерна [11, 12, 13, 14]. Необходимо добиваться того, чтобы сорта и технологии их возделывания обеспечивали единую функциональную целостность в определённых условиях [15].

Яровая пшеница среди зерновых культур наиболее требовательна к минеральному питанию в связи с низкой усваивающей способностью корневой системы, особенно в начальный период развития. Использование минеральных

удобрений, и прежде всего азотных, повышает урожайность и улучшает качество зерна [16]. Для равномерного поступления в течение вегетации азота необходимо проводить подкормки в фазы «кущение-выход в трубку».

Вопрос выявления степени агрохимической отзывчивости новых сортов на фон минерального питания и азотные подкормки актуален.

Цель исследований – выявить отзывчивость сортов яровой мягкой пшеницы на применение минеральных удобрений и изучить особенности формирования элементов структуры урожайности в условиях Центрального Нечерноземья.

Новизна исследований заключается в получении экспериментальных данных для корректировки агрохимической составляющей сортовых технологий яровой пшеницы в условиях Рязанской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2019-2021 гг. в лаборатории селекции и первичного семеноводства Института семеноводства и агротехнологий – филиале ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). Почва участка – темно-серая лесная тяжелосуглинистая (содержание органического вещества – 5,60 %, подвижного фосфора – 378 мг/кг почвы, подвижного калия – 275,0 мг/кг почвы, обменного магния – 2,16 ммоль/100 г почвы; рН_{сол.} – 4,88).

Объектом исследований являлись 5 сортов яровой мягкой пшеницы, внесенных в Государственный реестр селекционных достижений по Центральному региону, которые относятся к группе среднеспелых с вегетационным периодом 71-102 дня и имеют среднюю устойчивость к засухе. Урожайность в конкурсном сортоиспытании филиала на фоне N₆₄P₆₄K₆₄ за 2015-2021 годы составляла: сорта Лада – 3,23-5,64 т/га, Агата – 4,03-5,39, РИМА – 3,59-5,31, Арсея – 4,24-5,87, Маэстро – 4,49-7,33 т/га. Сорта имели следующие показатели массы 1000 зерен: Лада 32-39 г, Агата 34-40,

РИМА 35-42, Арсея 37-41, Маэстро 32-40 г. Оригинаторами сортов Лада и Агата являются ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и ФГБНУ ФИЦ Немчиновка, сортов РИМА, Арсея, Маэстро – ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Схема опыта: Фактор А – сорта яровой мягкой пшеницы различных периодов сорто-смены: Лада (1997 г.), Агата (2014 г.), РИМА (2017 г.), Арсея (2020 г.), Маэстро (2021 г.).

Фактор В – минеральные удобрения: 1. $N_0P_0K_0$ – контроль. 2. $N_{64}P_{64}K_{64}$ (перед посевом). 3. $N_{64}P_{64}K_{64}$ (перед посевом) + N_{30} (в фазу «начало кущения»). 4. $N_{64}P_{64}K_{64}$ (перед посевом) + N_{30} (в фазу «начало кущения») + N_{15} (в фазу «выход в трубку»).

Из минеральных удобрений использовали азофоску $N_{16}P_{16}K_{16}$ и аммиачную селитру N_{34} . Общая площадь опыта – 1392 м², площадь учетной делянки – 10 м², повторность – четырёхкратная, размещение делянок рендомизированное.

Закладку опыта произвели согласно методике государственного сортоиспытания¹, обработку урожайных данных – по Б. А. Доспехову². Посев проводили в оптимальные сроки для нечерноземной полосы Центрального региона по предшественнику черный пар, с нормой высева 600 шт. всхожих зерен на 1 м².

В фазу «полные всходы» применяли инсектицид Борей, СК – 0,1 л/га. В фазу «кущение» проводили обработку баковой смесью гербицидов (Балерина, СЭ – 0,4 л/га + Магnum, ВДГ – 7 г/га) с добавлением инсектицида Борей, СК – 0,1 л/га. Элементы структуры урожая определяли со снопового материала с учетных площадок, взятых с площади 0,25 м² в 4-х повторениях. Уборку делянок проводили в фазу полной спелости культуры комбайном Сампо 130, урожайные данные приводили к стандартной 14 % влажности.

Природные агроклиматические условия Центрального Нечерноземья благоприятны для возделывания культуры. Однако решающее значение для формирования урожая зерна имеет уровень влагообеспеченности растений в первую половину вегетации. В это время происходит интенсивный рост и закладка основных элементов продуктивности. За годы

исследований условия вегетации существенно различались. Вегетационный период 2019 года характеризовался критическим дефицитом влаги и повышенными температурами воздуха (ГТК = 0,73). Метеоусловия 2020 года отличались обильными осадками с резкими колебаниями среднесуточных температур (ГТК = 1,28). Первая половина вегетации 2021 года прошла в умеренно-прохладных условиях с достаточным количеством влаги (ГТК = 0,96), вторая половина – в экстремально жарких условиях, превышающих среднееголетние значения на 9,6 °C (ГТК = 0,5).

Результаты и их обсуждение. Средняя урожайность яровой пшеницы по опыту составила 4,34 т/га, с вариацией от 2,45 до 5,57 т/га в зависимости от условий вегетации, доз и способов внесения минеральных удобрений, сортовых особенностей (табл. 1).

Урожайность яровой мягкой пшеницы в вариантах без удобрения можно принять за потенциальную продуктивность изучаемых сортов культуры на почве с определённым уровнем плодородия в конкретных сложившихся метеорологических условиях года. Самая низкая продуктивность в неблагоприятный сезон 2019 года отмечена у сорта Лада – 2,45 т/га, наиболее высокая – у сорта Маэстро – 3,02 т/га. С улучшением погодных факторов тенденция сохранялась – сорт Лада был самым низкопродуктивным – 3,38 т/га, сорт Маэстро наоборот – 4,27 т/га. На основании полученных данных можно констатировать, что селекционная работа на увеличение продуктивности была успешной и современные сорта имеют больший выход продукции с единицы площади.

Использование минерального фона ($N_{64}P_{64}K_{64}$) способствовало увеличению урожайности всех сортов эксперимента на 1,02-1,69 т/га. Однако сортовая реакция на него была неодинаковой. Так, у сортов Лада и РИМА получена самая минимальная прибавка урожайности – 1,02 и 1,07 т/га соответственно. Наиболее отзывчивыми на улучшение уровня минерального питания были сорта Маэстро, Арсея и Агата: урожайность в сравнении с контролем увеличилась на 1,69, 1,42 и 1,28 т/га, или 48,0, 42,1 и 39,0 % соответственно.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: ООО «Группа Компаний море», 2019. 384 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки). 5 издание, перераб. и допол. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.

Таблица 1 – Реакция различных сортов яровой мягкой пшеницы на внесение минеральных удобрений (2019-2021 гг.) /

Table 1 – The reaction of various varieties of spring soft wheat to mineral fertilizers (2019-2021)

Удобрение (фактор В) / Fertilizer (Factor B)	Урожайность min-max, т/га / Productivity min-max, t/ha	Средняя урожай- ность, т/га / Average yield, t/ha	Отклонение от варианта, % / Variant deviation, %		
			N ₀ P ₀ K ₀	N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀
Сорт (фактор А) / Variety (Factor A)					
Лада / Lada					
1. N ₀ P ₀ K ₀	2,45-3,38	2,93	-		
2. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	3,73-4,22	3,95	34,8	-	
3. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀	4,12-4,35	4,43	51,2	12,2	-
4. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀ + N ₁₅	3,95-4,39	4,08	39,3	3,3	-7,90
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		0,15	-	-	-
Агата / Agata					
1. N ₀ P ₀ K ₀	2,63-3,99	3,28	-		
2. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	4,09-5,07	4,56	39,0	-	
3. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀	4,58-5,38	5,07	54,6	11,2	-
4. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀ + N ₁₅	4,34-5,32	4,86	48,2	6,6	-4,14
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		0,23	-	-	-
РИМА / RIMA					
1. N ₀ P ₀ K ₀	2,63-3,99	3,00	-		
2. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	4,09-5,07	4,07	35,7	-	
3. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀	4,58-5,38	4,69	56,3	15,2	-
4. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀ + N ₁₅	4,34-5,32	4,47	49,0	9,8	-4,69
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		0,27	-	-	-
Арсея / Arseya					
1. N ₀ P ₀ K ₀	2,67-4,15	3,37	-		
2. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	4,26-5,34	4,79	42,1	-	
3. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀	4,62-5,56	5,26	56,1	9,8	-
4. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀ + N ₁₅	4,07-5,45	4,76	41,2	-0,6	-9,51
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		0,35	-	-	-
Маэстро / Maestro					
1. N ₀ P ₀ K ₀	3,02-4,27	3,52	-		
2. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄	4,77-5,57	5,21	48,0	-	
3. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀	4,92-5,50	5,26	49,4	1,0	-
4. N ₆₄ P ₆₄ K ₆₄ + N ₃₀ + N ₁₅	4,90-5,43	5,24	48,9	0,6	-0,38
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		0,11	-	-	-
Среднее по опыту / Average by experience		4,34	-	-	-

Примечания. Средняя урожайность по вариантам фактора А (сорт): Лада – 3,85 т/га; Агата – 4,44 т/га; РИМА – 4,06 т/га; Арсея – 4,55 т/га; Маэстро – 4,81 т/га (HCP₀₅ = 0,26 т/га). Средняя урожайность по вариантам фактора В (удобрение): N₀P₀K₀ – 3,22 т/га; N₆₄P₆₄K₆₄ – 4,52 т/га; (N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀) – 4,94 т/га; (N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅) – 4,68 т/га (HCP₀₅ = 0,33 т/га) /

Notes. Average yield according to factor A variants (Variety): Lada – 3.85 t/ha; Agata – 4.44 t/ha; RIMA – 4.06 t/ha; Arseya – 4.55 t/ha; Maestro – 4.81 t/ha (LSD₀₅ = 0.26 t/ha). Average yield by factor B options (Fertilizer): N₀P₀K₀ – 3.22 t/ha; N₆₄P₆₄K₆₄ – 4.52 t/ha; (N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀) – 4.94 t/ha; (N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅) – 4.68 t/ha (LSD₀₅ = 0.33 t/ha)

С дополнительным внесением азота в фазу «кущение» ($N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$, вариант 3) урожайность всех изучаемых сортов относительно контроля возрастала в 1,5 раза. Анализ урожайности сортов при сопоставлении с вариантом 2 ($N_{64}P_{64}K_{64}$) выявил, что не все изучаемые сорта в равной мере использовали азот на формирование зерновой части урожая. Наилучшим образом на формирование зерна дополнительный азот использовали сорта РИМА, Лада и Агата, повысив урожайность соответственно на 15,2, 12,2 и 11,2 % по сравнению с фоновым внесением минеральных удобрений. Нейтрально реагирующим на азотную подкормку в фазе «кущение» оказался сорт Маэстро, изменив урожайность незначительно – всего лишь на 1,0 %.

Увеличение поступления азота в фазу «выход в трубку» ($N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30} + N_{15}$, вариант 4) негативным образом сказалось на продуктивности. Сорта отреагировали снижением урожайности в разной степени, особенно существенно сорта Лада и Арсея – на 7,9-9,5 %. Сорт Маэстро оказался менее чувствительным к дополнительному азотному питанию и практически не отреагировал, изменив урожайность на 0,02 т/га. Можно предположить, что для сорта Маэстро с целью выявления дальнейшего увеличения урожайности необходимо изучить различные дозы сложного удобрения.

Как фон минерального питания, так и азотная подкормка яровой пшеницы повлияли на элементы структуры урожая (табл. 2). Практически во всех вариантах с применением удобрений отмечено достоверное превышение контрольных показателей, кроме высоты растений у сорта РИМА ($N_{64}P_{64}K_{64}$) и массы зерна с колоса у сортов Маэстро ($N_{64}P_{64}K_{64}$) и Арсея ($N_{64}P_{64}K_{64}$ и $N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30} + N_{15}$), значения которых находились ниже предела ошибки опыта. Наиболее значительное увеличение отмечено при использовании азотной подкормки в фазу «кущение» культуры ($N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$).

В среднем высота растений во 2 варианте ($N_{64}P_{64}K_{64}$) наиболее значительно изменялась у сорта Лада (выше на 7 см по отношению к контролю), на втором месте сорта Агата и Арсея с увеличением на 4 см. Самая слабая реакция на фон минерального удобрения по признаку «высота» отмечена у сорта РИМА. Азотная подкормка в фазу «кущение» оказала влияние на высоту растений сорта РИМА, увеличив её на 3 см, сорта Агата – на 4 см.

Существенным преимуществом по продуктивному стеблестоя в среднем по вариантам с удобрениями обладали сорта Маэстро, Арсея, Агата ($НСР_{05} = 57$ шт/м²). В свою очередь, значимое воздействие на количество продуктивных стеблей (в среднем по изучаемым сортам) оказали все варианты применения минеральных удобрений ($НСР_{05} = 42$ шт/м²). Число продуктивных стеблей под воздействием азота, внесённого в фазу «кущение», увеличивалось на 7,3-11,2 %.

Наибольшим продуктивным стеблестоем в варианте без удобрений отличались сорта Маэстро и Арсея, наименьшим – РИМА и Лада. Во 2 варианте ($N_{64}P_{64}K_{64}$) число продуктивных стеблей по сравнению с контролем ($N_0P_0K_0$) увеличивалось на 11,9-32,3 %. Высокая отзывчивость на фон минерального питания отмечена у сортов Агата и РИМА, в меньшей степени отреагировал сорт Лада.

Сорта Лада, Арсея, Маэстро в среднем по опыту существенно превысили по длине колоса (8,0-8,2 см) сорта Агата и Рима (7,4-7,6 см), $НСР_{05} (A) = 0,32$ см. Длина колоса увеличилась во 2 варианте ($N_{64}P_{64}K_{64}$) у сорта Арсея – на 8,1 % по отношению к контролю и в 3 варианте ($N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$) у сортов Арсея и Маэстро на 5 % по отношению ко 2 варианту ($N_{64}P_{64}K_{64}$).

По количеству колосков в колосе в среднем по вариантам удобрений сорта Агата и Маэстро (15,7 шт.) значимо превысили сорт Лада (14,5 шт.), $НСР_{05} (A) = 0,76$ шт. Существенное влияние на количество колосков в колосе у изучаемых сортов оказали все варианты внесения минеральных удобрений (относительно контроля без удобрений), однако дополнительная азотная подкормка в фазе «выход в трубку» снизила значение этого показателя в сравнении с вариантом ($N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$). В наибольшей степени число колосков в колосе увеличилось у сорта Арсея во 2 варианте ($N_{64}P_{64}K_{64}$) на 5,6 %, отмечено увеличение этого показателя от дополнительного азота (N_{30}) у сортов РИМА, Арсея, Агата, Лада на 4,7 %, 3,9, 3,8 и 3,5 %, соответственно.

По количеству зерен в колосе сорта РИМА, Арсея и Маэстро (31,7-31,8 шт.) имели преимущество перед Лада и Агата (27,4-27,6 шт.), $НСР (A) = 3,7$ шт. На улучшение минерального питания ($N_{64}P_{64}K_{64}$) наиболее позитивно отреагировал сорт Лада, увеличив количество зёрен в колосе на 14,3 %, на втором

месте сорт Маэстро – на 9,1 %, на третьем РИМА – на 6,6 %. Азотная подкормка (N₃₀) в фазу «кущение» наиболее эффективно повлияла на увеличение количества зёрен в колосе у сортов РИМА, Агата, Лада на 12,3, 9,0 и 8,1 % соответственно.

яла на увеличение количества зёрен в колосе у сортов РИМА, Агата, Лада на 12,3, 9,0 и 8,1 % соответственно.

Таблица 2 – Влияние минеральных удобрений на элементы урожайности сортов яровой мягкой пшеницы (2019-2021 гг.) /
 Table 2 – Influence of mineral fertilizers on the elements of spring soft wheat yield for 2019-2021

Удобрение (фактор В) / Fertilizer (Factor B)	Высота, см / Height, cm	Число продуктивных стеблей, шт/м² / Number of pro- ductive stems, psc/m²	Длина колоса, см / Spike length, cm	Количество, шт. / Quantity, pcs.		Масса зерна с колоса, г / Weight of grain per ear, g	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g
				колосков / spikelets	зерен в колосе / grains in an ear		
Сорт (фактор А) / Variety (Factor A)							
Лада/ Lada							
1. N₀P₀K₀	113	320	7,9	14,1	23,8	0,89	32,2
2. N₆₄P₆₄K₆₄	120	358	8,1	14,3	27,2	1,03	37,3
3. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀	121	384	8,4	14,8	29,4	1,11	37,8
4. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅	124	386	8,3	14,7	29,2	1,06	39,7
Среднее (фактор А) / Average (factor A)	120	362	8,2	14,5	27,4	1,02	36,8
HCP₀₅ / LSD₀₅	1,5	18	0,1	0,1	0,5	0,07	0,5
Агата/ Agata							
1. N₀P₀K₀	110	351	7,3	15,2	26,0	0,91	31,3
2. N₆₄P₆₄K₆₄	114	455	7,4	15,7	26,8	1,07	39,4
3. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀	118	506	7,4	16,3	29,2	1,08	40,5
4. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅	116	515	7,5	15,7	28,5	1,08	39,4
Среднее (фактор А) / Average (factor A)	115	457	7,4	15,7	27,6	1,04	37,7
HCP₀₅ / LSD₀₅	1,6	23	0,1	0,1	0,7	0,05	0,4
РИМА/ RIMA							
1. N₀P₀K₀	117	297	7,4	14,6	28,9	1,06	34,9
2. N₆₄P₆₄K₆₄	118	393	7,6	15,0	30,8	1,29	39,8
3. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀	121	426	7,7	15,7	34,6	1,34	40,3
4. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅	120	406	7,5	15,3	32,5	1,28	39,4
Среднее (фактор А) / Average (factor A)	119	381	7,6	15,2	31,7	1,24	38,4
HCP₀₅ / LSD₀₅	1,3	20	0,1	0,2	0,9	0,04	0,5
Арсея/ Arseya							
1. N₀P₀K₀	113	403	7,4	14,4	30,1	1,13	34,2
2. N₆₄P₆₄K₆₄	117	494	8,0	15,2	31,5	1,15	35,5
3. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀	119	532	8,4	15,8	32,6	1,21	36,1
4. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅	119	522	8,3	15,9	33,0	1,17	36,5
Среднее (фактор А) / Average (factor A)	117	488	8,0	15,3	31,8	1,17	35,6
HCP₀₅ / LSD₀₅	1,5	16	0,1	0,2	0,6	0,06	0,5
Маэстро/ Maestro							
1. N₀P₀K₀	104	411	7,9	15,4	29,7	1,05	34,6
2. N₆₄P₆₄K₆₄	106	517	8,0	15,8	32,4	1,07	34,4
3. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀	107	572	8,4	16,0	32,5	1,14	36,0
4. N₆₄P₆₄K₆₄ + N₃₀ + N₁₅	107	564	8,2	15,5	32,1	1,14	34,2
Среднее (фактор А) / Average (factor A)	106	516	8,1	15,7	31,7	1,10	34,8
HCP₀₅ / LSD₀₅	1,1	28	0,1	0,2	0,3	0,07	0,5
HCP₀₅ (А) / LSD₀₅ (А)	5,1	56,8	0,32	0,76	3,7	0,13	4,3
HCP₀₅ (В) / LSD₀₅ (В)	2,2	41,8	0,25	0,53	1,9	0,10	3,8

Средняя масса зерна с колоса существенно больше у сортов РИМА и Арсея (1,24 и 1,17 г.). Масса зерна с колоса под влиянием фона минерального питания значительно увеличилась у сортов РИМА, Агата, Лада на 21,7 %, 17,6, 15,7 % соответственно. Азотная подкормка (N_{30} в фазу «кущение») значимо повлияла на массу зерна с колоса у сортов Лада – на 7,8 %, Маэстро – на 6,5 % и Арсея – на 5,2 %, у остальных сортов незначительно.

Наибольшей массой 1000 зерен, как начальным сортовым признаком, обладают сорта РИМА, Маэстро, Арсея. Однако в опыте по средней массе 1000 зерен не выявлено существенных различий среди изучаемых сортов, НСР (А) = 4,3 г. Отзывчивость на фон минерального питания проявили сорта Агата, Лада и РИМА, увеличив массу 1000 зёрен относительно контрольного варианта на 25,9, 15,8 и 14,0 % соответственно. Возделывание сорта Маэстро по фону $N_{64}P_{64}K_{64}$ не привело к увеличению массы 1000 зерен. Дополнительная азотная подкормка (N_{30} в фазу «кущение») оказала слабое влияние на увеличение массы 1000 зерен изучаемых сортов (на 1,0-2,8 %), за исключением Маэстро (4,7 %). По опыту большую массу 1000 зёрен имели сорта Агата и РИМА в варианте 3 ($N_{64}P_{64}K_{64} + N_{30}$). При повторной азотной подкормке (вариант 4) отмечено некоторое снижение значений этого признака у сортов Агата, РИМА, Маэстро.

Таким образом, возделывание яровой мягкой пшеницы на фоне минеральных удобрений оказало влияние на следующие элементы структуры урожайности (в порядке убывания): у сорта Лада – количество зёрен в колосе, масса 1000 зёрен, масса зерна с колоса; Агата – масса 1000 зёрен, число продуктивных стеблей, масса зерна с колоса; РИМА – число продуктивных стеблей, масса зерна с колоса, масса 1000 зёрен; Арсея – длина колоса, количество колосков в колосе, число

продуктивных стеблей; Маэстро – число продуктивных стеблей, количество зёрен в колосе.

Под влиянием азотной подкормки в фазе «кущение» наиболее эффективно нарастали значения следующих элементов структуры урожайности (в порядке убывания): у сорта Лада – масса зерна с колоса, длина колоса, количество колосков и зёрен в колосе; Агата – число продуктивных стеблей, количество колосков в колосе, масса 1000 зёрен; РИМА – количество колосков и зёрен в колосе, число продуктивных стеблей; Арсея – длина колоса, количество колосков в колосе, масса зерна с колоса; Маэстро – длина колоса, число продуктивных стеблей, масса 1000 зёрен, масса зерна с колоса.

Заключение. Выявлена отличительная особенность реакции сортов яровой мягкой пшеницы на варианты внесения минеральных удобрений. Наиболее отзывчивыми на фоновое внесение удобрений ($N_{64}P_{64}K_{64}$) были современные сорта Маэстро, Арсея и Агата: существенное увеличение урожайности в сравнении с контролем без удобрений составило 1,69, 1,42 и 1,28 т/га, или 48, 42 и 39 % соответственно. Дополнительную азотную подкормку (N_{30} в фазу кушения) наиболее эффективно использовали сорта РИМА, Агата и Лада, увеличив урожайность на 0,62, 0,51 и 0,48 т/га, или 15, 12 и 11 % соответственно. Сорт Маэстро показал себя как индифферентный к данному приёму.

Установлено, что под воздействием дополнительного азота (N_{30}) у сортов яровой пшеницы увеличивался стеблестой на 7,3-11,2 %, число колосков на 1,3-4,7 %, количество зерен на 0,3-12,3 %, масса зерна с колоса на 0,9-21,4 %. Выявлена сортовая специфика изменений элементов урожайности яровой пшеницы под влиянием агрохимических приемов.

Полученная информация может быть использована при разработке агрохимической составляющей сортовых технологий возделывания яровой пшеницы.

Список литературы

1. Стасюк А. И., Леонова И. Н., Пономарева М. Л., Василова Н. З., Шаманин В. П., Салина Е. А. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана. Сельскохозяйственная биология. 2021;56(1):78-91. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.78rus>
2. Михайлов Н. Н., Книпер В. П. Определение потребности растений в удобрениях. М.: Колос, 1971. 256 с.
3. Политыко П. М., Киселев Е. Ф., Афанасьева В. К., Тоноян С. В., Войтович Н. В., Зяблова М. Н. и др. Технология возделывания яровых зерновых культур в Центральном Нечерноземье: рекомендации. М.: МосНИИСХ, 2010. 92 с.
4. Афанасьев Р. А., Иванчик В. А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Нечерноземья при внесении минеральных удобрений. Плодородие. 2019;(6):11-14. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.03>
5. Шерстобитов С. В., Абрамов Н. В. Урожайность яровой пшеницы при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме off-line. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;2(76):51-55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38195024>

6. Якушев В. П., Михайленко И. М., Драгавцев В. А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожая зерновых культур в России. Сельскохозяйственная биология. 2015;50(5):550-560. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.550rus>
7. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Давыдова Н. В. Сорты яровой мягкой пшеницы для Нечерноземья. Земледелие. 2018;(8):38-41. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10811>
8. Hossain A., Skalicky M., Brestic M., Maitra S., Ashraf Alam M., Abu Syed M., Hossain J., Sarkar S., Saha S., Bhadra P., Shankar T., Bhatt R., Chaki A. K., EL Sabagh A., Islam T. Consequences and Mitigation Strategies of Abiotic Stresses in Wheat (*Triticum aestivum* L.) under the Changing Climate. Agronomy. 2021;11(2):241. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020241>
9. Алферов А. А., Завалин А. А., Кожемяков А. П., Чернова Л. С. Влияние удобрения и ризоагрина на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, потоки азота в системе удобрение-почва-растение. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(9):10-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10902>
10. Amirov M., Shaykhudinov F., Serzhanov I., Semushkin N. Main directions of development of spring wheat production agricultural technologies for sustain-able arable farming in the forest-steppe belt of the Middle Volga region. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017;9(1):559-568 DOI: <https://doi.org/10.15544/RD.2017.254>
11. Вольнкина О. В. Предельные прибавки урожайности сельскохозяйственных культур от азота и его окупаемость на среднесуглинистом выщелоченном черноземе. Плодородие. 2021;119(2):9-13. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.119.03>
12. Давлятшин И. Д., Лукманов А. А. Урожайность яровой пшеницы и окупаемость удобрений. Почвоведение и агрохимия. 2017;(3):68-75. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42399108>
13. Келер В. В., Хижняк С. В. Аспекты повышения продуктивности и рентабельности производства зерна яровой пшеницы в Красноярском крае. Вестник КрасГАУ. 2019;(6):28-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39531878>
14. Завьялова Н. Е., Сторожева А. Н. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность полевых культур при внесении возрастающих доз полного минерального удобрения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;(4(47)):35-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23857050>
15. Давыдова Н. В., Казаченко А. О., Широколава А. В., Нардид В. А., Резепкин А. М., Шарошкина Е. Е., Грачева А. В., Романова Е. С. Экологическая оценка стабильности и пластичности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов сортосмены. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020;(3):142-149. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-142-149>
16. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Жук С. Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы Свеча. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(2(57)):35-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862003>

References

1. Stasyuk A. I., Leonova I. N., Ponomareva M. L., Vasilova N. Z., Shamanin V. P., Salina E. A. *Fenotipicheskaya izmenchivost' selektsionnykh liniy myagkoy pshenitsy (Triticum aestivum L.) po elementam struktury uroznya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoy Sibiri i Tatarstana*. [Phenotypic variability of common wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding lines on yield components under environmental conditions of Western Siberia and Tatarstan]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2021;56(1):78-91. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.78rus>
2. Mikhaylov N. N., Kniper V. P. *Opreделение potrebnosti rasteniy v udobreniyakh*. [Determination of the need of plants for fertilizers]. Moscow: Kolos, 1971. 256 p.
3. Polityko P. M., Kiselev E. F., Afanas'eva V. K., Tonoyan S. V., Voytovich N. V., Zhablova M. N. et al. *Tekhnologiya vozdeystviya yarovykh zernovykh kul'tur v Tsentral'nom Nечернозем'e: rekomendatsii*. [Technology of cultivation of spring grain crops in the Central Non-Chernozem region: recommendations]. Moscow: MosNIISKh, 2010. 92 p.
4. Afanasev R. A., Ivanchik V. A. *Urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v usloviyakh Nечернозем'ya pri vnesenii mineral'nykh udobreniy*. [Influence of mineral fertilizers on the yield and quality of spring wheat under conditions of non-chernozem zone]. *Plodorodie*. 2019;(6):11-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.03>
5. Sherstobitov S. V., Abramov N. V. *Urozhaynost' yarovoy pshenitsy pri differentsirovannom vnesenii azotnykh udobreniy v rezhime off-line*. [Effect of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode on spring wheat yields]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):51-55. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38195024>
6. Yakushev V. P., Mikhaylenko I. M., Dragavtsev V. A. *Agrotekhnologicheskie i selektsionnye rezervy povysheniya urozhaev zernovykh kul'tur v Rossii*. [Reserves of agro-technologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2015;50(5):550-560. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.550rus>
7. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Davydova N. V. *Sorta yarovoy myagkoy pshenitsy dlya Nечернозем'ya*. [Spring Soft Wheat Varieties for the Non-Black Soil Zone]. *Zemledelie*. 2018;(8):38-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10811>
8. Hossain A., Skalicky M., Brestic M., Maitra S., Ashraf Alam M., Abu Syed M., Hossain J., Sarkar S., Saha S., Bhadra P., Shankar T., Bhatt R., Chaki A. K., EL Sabagh A., Islam T. Consequences and Mitigation Strategies of Abiotic Stresses in Wheat (*Triticum aestivum* L.) under the Changing Climate. *Agronomy*. 2021;11(2):241. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020241>

9. Alferov A. A., Zavalin A. A., Kozhemyakov A. P., Chernova L. S. *Vliyanie udobreniya i rizoagrina na urozhaynost' i kachestvo zerna yaro-voy pshenitsy, potoki azota v sisteme udobrenie-pochva-rastenie*. [Effect of Fertilizer and Rhizoagrin on the Yield and Grain Quality of Spring Wheat; Nitrogen Flows in the Fertilizer – Soil – Plant System]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(9):10-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10902>
10. Amirov M., Shaykhudinov F., Serzhanov I., Semushkin N. Main directions of development of spring wheat production agricultural technologies for sustain-able arable farming in the forest-steppe belt of the Middle Volga region. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2017;9(1):559-568. DOI: <https://doi.org/10.15544/RD.2017.254>
11. Volynkina O. V. *Predel'nye pribavki urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur ot azota i ego okupaemost' na srednesuglinistom vyshchelochennom chernozeme*. [Limit increases of yield of agricultural cultures from nitrogen doses and his payback in the experiments of the Kurgan Research Institute]. *Plodorodie*. 2021;119(2):9-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.119.03>
12. Davlyatshin I. D., Lukmanov A. A. *Urozhaynost' yarovoy pshenitsy i okupaemost' udobreniy*. [Productivity of summer wheat and performance of fertilizers FGBI]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2017;(3):68-75. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42399108>
13. Keler V. V., Khizhnyak S. V. *Aspekty povysheniya produktivnosti i rentabel'nosti proizvodstva zerna yarovoy pshenitsy v Krasnoyarskom krae*. [The aspects of productivity and profitability increasing in spring wheat grain production in Krasnoyarsk region]. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2019;(6):28-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39531878>
14. Zavyalova N. E., Storozheva A. N. *Agrokhimicheskie svoystva dervno-podzolistoy pochvy i urozhaynost' polevykh kul'tur pri vnesenii vozrastayushchikh doz polnogo mineral'nogo udobreniya*. [Agrochemical properties of sod-podzolic soil and productivity of field crops at entering of increasing doses of complete mineral fertilizer]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;(4(47)):35-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23857050>
15. Davydova N. V., Kazachenko A. O., Shirokolava A. V., Nardid V. A., Rezepkin A. M., Sharoshkina E. E., Gracheva A. V., Romanova E. S. *Ekologicheskaya otsenka stabil'nosti i plastichnosti sortov yarovoy myagkoy pshenitsy razlichnykh periodov sortosmeny*. [Ecological evaluation of stability and plasticity of spring soft wheat varieties of different variety changing periods]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020;(3):142-149. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-142-149>
16. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N., Zhuk S. N. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy Svecha*. [Influence of mineral fertilizers on productivity and grain quality in spring wheat Svecha]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(2(57)):35-40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862003>

Сведения об авторах

✉ **Барковская Татьяна Анатольевна**, старший научный сотрудник отдела селекции, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая д. 1, с. Подвьязь, Рязанская обл., Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>, e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Гладышева Ольга Викторовна, кандидат с.-х. наук, директор, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» ул. Парковая д. 1, с. Подвьязь, Рязанская обл., Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Кокорева Валерия Геннадьевна, младший научный сотрудник отдела селекции, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая д. 1, с. Подвьязь, Рязанская обл., Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-4747>

Information about the authors

✉ **Tatiana A. Barkovskaya**, senior researcher, the Department of Breeding, the Institute of Seed Production and Agro-technologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, 1, s. Podvyazye, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>,
e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Olga V. Gladysheva, PhD in Agricultural Science, director, the Department of Breeding, the Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, 1, s. Podvyazye, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Valeria G. Kokoreva, junior researcher, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, 1, s. Podvyazye, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6584-4747>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ/
FUR FARMING AND HUNTING<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.248-254>

УДК 639.1:349.6: 342.951

**Территориальное охотустройство: проблемы стратегического планирования и нормативного регулирования**© 2022. И. А. Гребнев^{1,2,3} ✉¹ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация,²ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Российская Федерация,³АНО «Институт природоресурсного и экологического права», г. Киров, Российская Федерация

В статье анализируются проблемы территориального охотустройства в Российской Федерации. Предметом анализа послужили положения федеральных правовых актов, регламентирующих организацию и проведение стратегического планирования в Российской Федерации, организацию и проведение территориального охотустройства, а также 60 утвержденных и находящихся в общем доступе схем размещения, использования и охраны охотничьих ресурсов на территории субъекта Российской Федерации. В работе использованы общенаучные методы исследования, а также формально-юридический, сравнительно-правовой, технико-юридический методы исследования и метод правового моделирования. Показано наличие ряда системных проблем государственного управления сферой охоты и сохранения охотничьих ресурсов, негативно влияющих на региональное стратегическое планирование охотничьего природопользования. Приводятся примеры типичных и воспроизводимых в различных вариациях в регионах дефектов регионально-охотхозяйственного планирования. Предложен комплекс мер по совершенствованию организационно-правового механизма территориального охотустройства: во-первых, автором обоснована необходимость составления таких документов только в рамках научно-исследовательских работ; во-вторых, показана целесообразность закрепления положений о наличии элементов адаптивного управления в документах территориального охотустройства на федеральном уровне; в-третьих, указывается на необходимость обязательного проведения общественного и профессионального обсуждения проекта документа территориального охотустройства на этапе приемки работы; в-четвертых, рекомендуется повысить уровень включенности охотников, охотпользователей и иных заинтересованных участников отношений в сфере охотничьего природопользования в процесс утверждения и реализации планов отраслевого развития, в том числе за счет наделения полномочиями органов государственной власти субъектов Российской Федерации в части формирования регионального компонента охотхозяйственных соглашений.

Ключевые слова: охота, охотхозяйственное соглашение, региональное стратегическое планирование, управление охотничьим хозяйством

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

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гребнев И. А. Территориальное охотустройство: проблемы стратегического планирования и нормативного регулирования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):248-254.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.248-254>

Поступила: 16.02.2022

Принята к публикации: 01.04.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Territorial hunting management: problems of strategic planning and law regulation© 2022. Ivan A. Grebnev^{1,2,3} ✉¹Vyatka State University, Kirov, Russian Federation,²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation,³Institute of Natural Resources and Environmental Law, Kirov, Russian Federation

The article analyzes the problems of territorial hunting management in the Russian Federation. The subjects of the analysis were regulations of federal legal acts controlling the organization and conduct of strategic planning in the Russian Federation, the organization and conduct of territorial hunting management, as well as 60 approved and publicly available schemes for the placement, use and protection of hunting resources on the territory of the subject of the Russian Federation. During the study there were used general scientific research methods, as well as formal-legal, comparative-legal, technical-legal

research methods and the method of legal modeling. It is shown that there are a number of systemic problems of state management of the hunting sphere and the storage of hunting resources that negatively affect the regional strategic planning of hunting nature management. Examples of typical and reproducible in different variations in the regions defects of regional hunting planning are given. A set of measures to improve the organizational and legal mechanism of territorial hunting management is proposed: firstly, the author substantiates the need to compile such documents only within the framework of scientific research; secondly, the expediency of fixing the regulations on the presence of elements of adaptive management in the documents of territorial hunting management at the federal level is shown; thirdly, the need for mandatory public and professional discussion of the draft document of territorial hunting management at the stage of acceptance of work is indicated; fourthly, it is recommended to increase the level of involvement of hunters, hunting users and other interested parties in the field of hunting nature management into the process of approving and implementing sectoral development plans, including by granting full powers to state authorities of the subjects of the Russian Federation in the formation of a regional component of hunting agreements.

Key words: *hunting, hunting agreement, regional strategic planning, hunting administration*

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within initiative theme.

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Grebnev I. A. Territorial hunting management: problems of strategic planning and law regulation *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):248-254. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.248-254>

Received: 16.02.2022

Accepted for publication: 01.04.2022

Published online: 20.04.2022

В научной литературе широко обсуждаются проблемы государственного управления сферой охотничьего природопользования [1, 2, 3]. Многие специалисты приходят к заключению об отсутствии действенных системных мер по обеспечению эффективного устойчивого использования ресурсов охотничьих животных и угодий и, как следствие, о неудовлетворительном состоянии отрасли [4, 5, 6]. В качестве одной из ключевых причин называется несовершенство нормативного регулирования, его неадекватность сложившимся социально-экономическим и экологическим реалиям [7, 8, 9, 10]. Вместе с тем, очевидно, что законодательство является лишь инструментом государственной политики, проекцией государственных воззрений на способ функционирования и взаимодействия социальных институтов. Соответственно отправной точкой к изменению существующего положения является пересмотр политико-идеологических установок, а также оформляющих их актов концептуально-правового моделирования и стратегического планирования.

Цель работы – изучение современных проблем государственного регулирования территориального охотустройства и определение мер и направлений развития данного социально-экологического института для обеспечения устойчивого использования фаунистического компонента биоразнообразия.

Научная новизна работы заключается в оценке эффективности территориального охотустройства с точки зрения стратегического планирования охотхозяйственной деятельности, в разработке практических предложе-

ний по совершенствованию государственного регулирования организации и проведения региональных охотустроительных работ.

Материал и методы. Материалами исследования послужила совокупность положений Федеральных законов от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее ФЗ № 209), от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (далее ФЗ № 172), Стратегии развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 03.07.2014 № 1216-р, порядка составления схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации, а также требований к ее составу и структуре, утвержденных приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31.08.2010 № 335 (далее Приказ № 335), 60 утвержденных и находящихся в общем доступе схем размещения, использования и охраны охотничьих ресурсов на территории субъекта Российской Федерации, иные правовые акты в сфере охотничьего хозяйства, литературные источники.

В работе использовались как общенаучные методы исследования (диалектический метод, метод сравнительного и системного анализа, методы обобщения, классификации и аналогии), так и специальные (формально-юридический, сравнительно-правовой, технико-юридический, правового моделирования).

Результаты и их обсуждение. В соответствии со статьей 39 Федерального закона ФЗ № 209 территориальное охотустройство осуществляется в целях планирования в области охоты и сохранения охотничьих ресурсов и призвано обеспечить рациональное использование и сохранение объектов охоты, а также осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства в соответствующем субъекте Российской Федерации. Документом территориального охотустройства является схема размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации (далее Схема). Её состав, структура и порядок составления утверждены Приказом № 335. Документ территориального охотустройства содержит информацию о целях планирования в сфере охотничьего природопользования, физико-географическое описание территории, социально-экономические параметры региона, характеристику размещения и состояния использования охотничьих угодий и иных территорий, характеристику состояния численности, размещения и использования охотничьих ресурсов, мероприятия по организации рационального использования охотничьих угодий и охотничьих ресурсов в субъекте Российской Федерации. Руководствуясь закрепленными в ФЗ № 172 положениями, резюмируем, что Схема представляет собой документ регионального стратегического планирования в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов. Этот документ на основе анализа потребностей и ожиданий населения соответствующей территории, принятых обществом ценностей, анализа текущей ситуации, призван сформировать стратегии решения текущих и перспективных задач, тем самым обеспечив системность и комплексность воздействия на регулируемые общественные отношения. Являясь средством формулирования (выражения) правовой политики государства, данный концептуально-правовой акт должен определить и формально закрепить региональный хозяйственный механизм охотничьего природопользования. Соответственно документ стратегического планирования должен отвечать требованиям определенности, непротиворечивости, системности, сбалансированности, достижимости поставленных целевых ориентиров и индикаторов. Документом должна быть представлена проектируемая и прогнозируемая модель будущего состояния отрасли, описаны ее количественные и качественные параметры [11]. Заметим, что Концепция пере-

хода Российской Федерации к устойчивому развитию, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 01.04.1996 № 440, исходит из того, что переход к устойчивому развитию Российской Федерации в целом возможен только в том случае, если будет обеспечено устойчивое развитие всех ее регионов. В связи с чем региональной природопользовательской политике и актам стратегического планирования отводится чрезвычайно важная роль в процессе достижения устойчивости существования и использования фаунистического компонента биоразнообразия.

Однако содержательно-регулятивный анализ принимаемых в Российской Федерации Схем показывает наличие целого ряда структурных и системных дефектов, препятствующих выполнению ими возложенных функций.

Одной из важных особенностей сферы охоты и сохранения охотничьих ресурсов является высокая степень централизации государственных полномочий, сосредоточение преимущественно на федеральном уровне ключевых функций государственного управления отраслью [12, 13, 14]. При этом региональные органы управления обладают незначительным перечнем организационно-правовых средств по адаптации федеральных установок к условиям осуществления охоты и ведения охотничьего хозяйства соответствующего субъекта Российской Федерации. Вероятно, такое распределение государственных полномочий могло бы считаться оправданным в случае обеспечения федеральными органами власти научно-методического, организационно-правового, финансового сопровождения развития отрасли на высоком уровне. Однако специалистами указывается на наличие целого спектра существенных отраслевых проблем, которые не находят адекватного решения на протяжении последних нескольких десятилетий. В частности, на федеральном уровне не обоснован и формально не закреплен выбор модели охотничьего природопользования (элитарная или эгалитарная), а в федеральных правовых актах содержатся взаимоисключающие положения о необходимости одновременного стимулирования предпринимательской активности, увеличения оценочной стоимости охотничьих животных и оценочной стоимости продукции охотничьего хозяйства, и обеспечения доступности охоты для граждан. Помимо концептуально-правовой неопределенности существуют и не разрешаются институциональные проблемы отсутствия предус-

мотренных ФЗ № 209 нормативов биотехнических мероприятий в охотничьих угодьях, методик учета численности по некоторым видам и группам видов охотничьих ресурсов, а в отношении принятых методик не устраняются выявленные дефекты их применения, отсутствуют определение, режим, порядок создания зон охраны охотничьих ресурсов, определение, режим, порядок создания зон нагонки и натаски собак охотничьих пород и т. д. Очевидно, что в условиях отсутствия важнейших системообразующих отраслевых институтов региональное стратегическое планирование охоты и сохранения охотничьих ресурсов будет являться заведомо неполноценным.

Наличие обозначенной проблематики зачастую дополняется и усугубляется содержательной неопределенностью положений, проектирующих и прогнозирующих развитие отрасли в регионе. Ниже мы приведем примеры таких положений по одному субъекту Российской Федерации, отражающих общие закономерности и проблемы документов территориального охотхозяйственного планирования.

Указом Главы Республики Адыгея от 17.08.2012 № 169 утверждена Схема размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории Республики Адыгея. Декларируется, что важнейшими целями государственной политики в области охотничьего хозяйства на территории данного субъекта федерации являются:

- обеспечение конституционных прав граждан России в сфере охоты;
- права на труд, отдых, благоприятную окружающую среду, развитие способностей и удовлетворение потребностей, а также экономических свобод хозяйствующих субъектов отрасли;
- уточнение, законодательное закрепление и эффективная защита социально-экономических интересов государства в области использования охотничьих ресурсов;
- создание адекватной и экономической нормативно-правовой и информационно-методической базы для принятия управленческих решений;
- стабилизация экономики отрасли.

Заметим, что представленные формулировки являются предельно общими, они не раскрывают и не закрепляют социально-экологическую сущность охотничьего природопользования, заключающуюся в обеспечении устойчивого и рационального использования охотничьих ресурсов на основе

сохранения их биологического разнообразия в целях удовлетворения различных потребностей человека, общества и государства.

В числе основных направлений развития охотничьего хозяйства на территории Республики Адыгея заявлены: формирование республиканской нормативно-правовой базы охотпользования; охрана охотничьих ресурсов и сохранение среды их обитания; любительская охота; развитие охотничьего туризма, включая трофейную охоту; переработка сырья и реализация продукции; научное обеспечение охотпользования; введение новых видов охотничьих ресурсов путем акклиматизации и реакклиматизации, разведения охотничьих ресурсов в полувольных условиях и искусственно созданных условиях обитания, гибридизации и другие.

Приоритетным направлением развития охотхозяйственной отрасли в Республике Адыгея определена общественная форма его ведения при формировании на базе общественных объединений охотников высокорентабельных охотничьих хозяйств, работа по повышению культуры охоты, восстановлению охотничьей этики и предоставлению услуг в сфере ведения охотничьего хозяйства.

Таким образом, документом территориального стратегического планирования охотничьего природопользования Республики Адыгея определены предпочтительная модель охотничьего хозяйства (преимущественно эгалитарная, предусматривающая создание, сохранение и развитие общественных объединений охотников, а также закрепление за ними ведущей роли в организации использования ресурсов охотничьих животных), необходимость осуществления и развития некоторых видов и направлений деятельности (формирование специального законодательства, охотничий туризм, акклиматизация, реакклиматизация и гибридизация охотничьих животных, переработка сырья и продукции и т.д.), государственные и общественные интересы (повышение культуры охоты, восстановление охотничьей этики, предоставление услуг в сфере ведения охотничьего хозяйства, стабилизация экономики отрасли и др.).

Вместе с тем, в документе не осуществлены выбор путей и способов достижения поставленных целей и решения задач, обоснование и формирование соответствующего комплекса мероприятий и определение необходимых для этого ресурсов; отсутствуют механизмы вовлечения граждан и хозяйствующих субъектов в процесс стратегического планирования, координация действий и рас-

пределение ответственности между участниками стратегического планирования и мероприятий за достижение заявленных целей и задач; не определены целевые показатели, сценарные прогнозы, средства мониторинга и контроля реализации документа стратегического планирования; не оценены риски и негативные факторы, которые могут оказать влияние на достижение проектируемых результатов. Заметим, что все эти элементы механизма стратегического планирования предусмотрены ФЗ № 172 и необходимы для решения задач стратегического планирования. Их отсутствие позволяет сделать вывод о декларативности заявленных положений и в целом о недостаточной эффективности публичного управления рассматриваемой сферой общественных отношений.

Формат данной работы не позволяет нам произвести обзор и анализ всех принятых субъектами Российской Федерации схем территориального охотустройства, однако следует заметить, что указанные выше изъяны типичны и воспроизводимы в различных вариациях в документах такого рода. Личный опыт автора в разработке Схемы Кировской области позволяет согласиться с мнением другого автора, заключившим что «...опыт составления Схем Ставропольской и Калининградской областей по действующему акту Минприроды подтверждает неизбежность получения на выходе практически бесполезных сводов бессистемной информации...» [15, с. 52]. Таким образом, исследуемая проблематика институциональна, требует системной коррекции. В этой связи нами предлагается комплекс мер по совершенствованию государственного регулирования территориального охотустройства.

Во-первых, полагаем целесообразным осуществлять составление Схем только в рамках научно-исследовательских работ. Это позволит заказчику (органу государственной власти) предъявлять более высокие требования к исполнителю на всех этапах работы (в том числе, на этапах составления технического задания и отбора претендентов на право заключения государственного контракта, приемки отдельных этапов и работы в целом). Исполнитель при этом будет обладать большими финансовыми, временными и иными ресурсами и возможностями. Указанные обстоятельства в совокупности будут способствовать выполнению работы на более высоком уровне.

Во-вторых, в Приказе № 335 следует закрепить требования о наличии элементов адаптивного управления в документах террито-

риального охотустройства, а также о вариативности планируемых и прогнозируемых состояний отрасли в соответствующем субъекте Российской Федерации в зависимости от прилагаемых усилий, рисков, воздействия благоприятных и неблагоприятных факторов и иных обстоятельств. Это позволит избежать декларативности положений о направлениях и мероприятиях по развитию охоты и охотничьего хозяйства, сформировать механизм достижения поставленных целей и задач, оценить достигнутые результаты, а также принимать своевременные меры при необходимости коррекции отдельных положений.

В-третьих, Приказ № 335 необходимо дополнить требованием об обязательном проведении общественного и профессионального обсуждения проекта документа территориального охотустройства на этапе приемки работы. Привлечение общественности позволит согласовать интересы отрасли и местного населения, легитимизировать (признать необходимой и приемлемой большинством местного населения) охотхозяйственную деятельность и укрепить доверие к отраслевым институтам. Профессиональная экспертиза является важным инструментом независимой проверки качества проведенной работы, в ходе которой возможно оценить, в том числе, адекватность поставленных целей и задач развития отрасли и отдельных ее сегментов, механизм их достижения, их согласованность с документами других природоресурсных отраслей.

В-четвертых, повысить качество охотхозяйственного планирования нам представляется возможным посредством увеличения включенности (инклюзивности) охотников, охотпользователей и иных заинтересованных участников отношений в сфере охотничьего природопользования в процесс утверждения и реализации планов отраслевого развития. Так, в ряде субъектов Российской Федерации существует практика выдачи заданий охотникам, выполнение которых обеспечивает участие в распределении разрешений на добычу охотничьих ресурсов в общедоступных охотничьих угодьях на льготных условиях. Полагаем, что такая практика способствует устойчивости охотпользования и заслуживает нормативного закрепления на федеральном уровне с указанием, что данные задания формируются на основе документов территориального охотустройства. Привлечение долгосрочных охотпользователей к реализации планов регионального охотхозяйственного

развития практикуется в разных формах в некоторых субъектах Российской Федерации. Однако достаточных и эффективных механизмов для взаимодействия органов власти субъектов Российской Федерации и охотпользователей по реализации актов регионального стратегического планирования на сегодняшний день нет. В этой связи нами предлагается рассмотреть вопрос о наделении органов государственной власти субъектов Российской Федерации полномочиями в части формирования регионального компонента охотхозяйственных соглашений, формируемого на основе документов регионального охотхозяйственного планирования.

Заключение. В настоящее время территориальное охотхозяйственное планирование имеет ряд существенных недостатков, негативно отражающихся на деятельности по охране и использованию ресурсов охотничьих животных, обеспечению устойчивости и экологической безопасности. Причиной выявленного несовершенства является неэффективность организационно-правового механизма, регламентирующего данный вид деятельности. Предложенный в настоящей статье комплекс мер направлен на повышение качества регионального стратегического планирования в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов.

Список литературы

1. Nie M. State Wildlife Policy and Management: The Scope and Bias of Political Conflict. Public Administration Review. 2004;64(2):221-233. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2004.00363.x>
2. Fell P. T. Conflict and legitimacy: explaining tensions in Swedish hunting policy at the local level. Environmental Politics. 2008;17(1):105-114. DOI: <https://doi.org/10.1080/09644010701811707>
3. Hiedanpää Ju., Bromley D. W. The harmonization game: Reasons and rules in European biodiversity policy. Environmental Policy and Governance. 2011;21(2):99-111. DOI: <https://doi.org/10.1002/eet.561>
4. Краев Н. В. Нужен новый федеральный закон об охоте и охотничьем хозяйстве. Законодательное обеспечение охраны животного мира: монография. Е. Л. Минина, С. А. Боголюбов, Ю. А. Тихомиров [и др.]; отв. ред. Н. А. Духно, С. А. Боголюбов. М.: Юридический институт МИИТ, 2016. С. 131-138.
5. Андреев М. Н., Краев Н. В., Краева В. Н. Государственная политика в сфере охоты и охотничьего хозяйства: история и современность. Киров: ГНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова Россельхозакадемии, 2013. 152 с. Режим доступа: https://www.hunting.ru/files/file/kraev/gospolitika_ohota.pdf
6. Шулятьев А. А. Проблемы устойчивого использования охотничьих ресурсов и государственного надзора в сфере охоты. Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2017;(3(6)):146-151. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30480707>
7. Горохов Д. Б. Длительные правоотношения в сфере охотничьего хозяйства: проблемы совершенствования федерального законодательного регулирования. Журнал российского права. 2017;(10 (250)):91-103. DOI: https://doi.org/10.12737/article_59c4d75f51ed43.45270086
8. Дойников П. И. О качественном совершенствовании законодательства об охране животного мира. Lex Russica (Русский закон). 2021;(8 (177)):118-125. DOI: <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2021.177.8.118-125>
9. Андреев М. Н., Краев Н. В., Краева В. Н. Региональная государственная политика в сфере охоты и охотничьего хозяйства. Экологическое право. 2013;(4):17-23.
10. Горохов Д. Б., Шунаева Д. Д. Охотничьи угодья: соотношение правового регулирования и фактического положения. Журнал российского права. 2019;(5):119-132. DOI: https://doi.org/10.12737/art_2019_5_11
11. Grebnev I. Regional Strategic Planning of hunting Nature Management: Political and Legal Aspects of Ensuring Sustainable Development. Proceedings of the Second Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT). Atlantis Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.211118.069>
12. Андреев М. Н., Краев Н. В., Краева В. Н. О государственном управлении охраной и использованием животного мира. Вестник охотоведения. 2013;10(1):95-107. Режим доступа: https://docs.google.com/viewer?url=http://www.rgazu.ru/upload/iblock/5f9/10_1_2013.pdf
13. Андреев М. Н., Колесников В. В. Региональное государственное и муниципальное управление охраной и использованием животного мира: современное состояние и направления развития. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2011;(4):74-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16458573>
14. Андреев М. Н., Краев Н. В., Краева В. Н. Федеральная государственная политика в сфере охоты и охотничьего хозяйства. Экологическое право. 2013;(3):27-33.
15. Матвейчук С. П. О структуре, составе и значении схем размещения охотугодий. Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: мат-лы Междунар. 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. 52-53.

References

1. Nie M. State Wildlife Policy and Management: The Scope and Bias of Political Conflict. Public Administration Review. 2004;64(2):221-233. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2004.00363.x>
2. Fell P. T. Conflict and legitimacy: explaining tensions in Swedish hunting policy at the local level. Environmental Politics. 2008;17(1):105-114. DOI: <https://doi.org/10.1080/09644010701811707>

3. Hiedanpää Ju., Bromley D. W. The harmonization game: Reasons and rules in European biodiversity policy. *Environmental Policy and Governance*. 2011;21(2):99-111. DOI: <https://doi.org/10.1002/eet.561>
4. Kraev N. V. *Nuzhen novyy federal'nyy zakon ob okhote i okhotnich'em khozyaystve. Zakonodatel'noe obespechenie okhrany zhivotnogo mira: monografiya*. [We need a new federal law on hunting and hunting economy. Legislative support for the protection of wildlife: monograph]. E. L. Minina, S. A. Bogolyubov, Yu. A. Tikhomirov [et al.]; *otv. red. N. A. Dukhno, S. A. Bogolyubov*. Moscow: *Yuridicheskiy institut MIIT*, 2016. pp. 131-138.
5. Andreev M. N., Kraev N. V., Kraeva V. N. *Gosudarstvennaya politika v sfere okhoty i okhotnich'ego khozyaystva: istoriya i sovremennost'*. [State policy in the field of hunting and hunting economy: history and our time]. Kirov: *GNU VNIIOZ im. prof. B. M. Zhitkova Rossel'khozakademii*, 2013. 152 p. URL: https://www.hunting.ru/files/file/kraev/gospolitika_ohota.pdf
6. Shuliatev A. A. *Problemy ustoychivogo ispol'zovaniya okhotnich'ikh resursov i gosudarstvennogo nadzora v sfere okhoty*. [Problems of sustainable use of hunting resources and state supervision in the sphere of hunting]. *Gumanitarnye aspekty okhoty i okhotnich'ego khozyaystva* = Humanitarian aspects of hunting and hunting economy. 2017;(3(6)):146-151. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30480707>
7. Gorokhov D. B. *Dlyashchiesya pravootnosheniya v sfere okhotnich'ego khozyaystva: problemy sovershenstvovaniya federal'nogo zakonodatel'nogo regulirovaniya*. [Lasting relations in the sphere of hunting: problems of improving the federal legal regulation]. *Zhurnal rossiyskogo prava* = Journal of Russian Law. 2017;(10 (250)):91-103. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_59c4d75f51ed43.45270086
8. Doynikov P. I. *O kachestvennom sovershenstvovanii zakonodatel'stva ob okhrane zhivotnogo mira*. [On the Qualitative Improvement of the Wildlife Protection Legislation]. *Lex Russica*. 2021;(8 (177)):118-125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2021.177.8.118-125>
9. Andreev M. N., Kraev N. V., Kraeva V. N. *Regional'naya gosudarstvennaya politika v sfere okhoty i okhotnich'ego khozyaystva*. [Regional and state policy in the sphere of hunting and hunting farm]. *Ekologicheskoe pravo* = Environmental Law. 2013;(4):17-23. (In Russ.).
10. Gorokhov D. B., Shunaeva D. D. *Okhotnich'i ugod'ya: sootnoshenie pravovogo regulirovaniya i fakticheskogo polozheniya*. [Hunting areas: ratio of legal regulation and actual situation]. *Zhurnal rossiyskogo prava* = Journal of Russian Law. 2019;(5):119-132. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/art_2019_5_11
11. Grebnev I. Regional Strategic Planning of hunting Nature Management: Political and Legal Aspects of Ensuring Sustainable Development. Proceedings of the Second Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT). Atlantis Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.211118.069>
12. Andreev M. N., Kraev N. V., Kraeva V. N. *O gosudarstvennom upravlenii okhrany i ispol'zovaniem zhivotnogo mira*. [On alleged body of state administration of wildlife protection and use]. *Vestnik okhotovedeniya* = Bulletin of hunting science. 2013;10(1):95-107. (In Russ.). URL: https://docs.google.com/viewer?url=http://www.rgazu.ru/upload/iblock/5f9/10_1_2013.pdf
13. Andreev M. N., Kolesnikov V. V. *Regional'noe gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie okhrany i ispol'zovaniem zhivotnogo mira: sovremennoe sostoyanie i napravleniya razvitiya*. [Regional state and municipal management of protection and use of fauna: a current state and development directions]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2011;(4):74-79. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16458573>
14. Andreev M. N., Kraev N. V., Kraeva V. N. *Federal'naya gosudarstvennaya politika v sfere okhoty i okhotnich'ego khozyaystva*. [Federal state policy in the sphere of hunting and hunting sector]. *Ekologicheskoe pravo* = Environmental Law. 2013;(3):27-33. (In Russ.).
15. Matveychuk S. P. *O strukture, sostave i znachenii skhem razmeshcheniya okhotugodiy*. [About the structure, composition and meaning of the schemes of placement of hunting grounds]. *Sovremennyye problemy prirodoopol'zovaniya, okhotovedeniya i zverovodstva: mat-ly Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 90-letiyu VNIIOZ im. prof. B. M. Zhitkova (22-25 maya 2012 g.)*. [Current 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. V M. Zhitkov (May 22-25, 2012)]. *Pod obshch. red. V. V. Shiryayeva*. Kirov: *GNU VNIIOZ im. prof. B. M. Zhitkova Rossel'khozakademii*, 2012. pp. 52-53.

Сведения об авторе

✉ **Гребнев Иван Анатольевич**, кандидат биол. наук, доцент, доцент кафедры трудового и социального права, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, доцент кафедры охотоведения и биологии диких животных, ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, Октябрьский пр-т, 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 author

✉ **Ivan A. Grebnev**, PhD in Biological Science, 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 of the Institute of Natural Resources 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/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>

УДК 619:616-07+633.8+615.015.21



Применение Фитодобавки лактирующим коровам

© 2022. А. А. Ивановский✉, Н. А. Латушкина

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

*Предметом исследований являлась Фитодобавка, содержащая экстракты из трав: левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*), серпуха венценосная (*Serratula coronata*), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria*). Изучали влияние Фитодобавки на биохимические показатели крови (общий белок, альбумины, аминотрансферазы, мочевина, общий холестерин, резервная щелочность, кальций), показатели молочного жира, белка и среднесуточный удой лактирующих коров в возрасте 3 лет, которые были распределены на опытную (Фитодобавка + основной рацион) и контрольную (только основной рацион) группы по 10 голов в каждой. Фитодобавка в порошкообразной форме вводилась индивидуально в рацион животных опытной группы ежедневно, однократно в дозе 10 грамм на голову в сутки в течение 90 дней. Анализ Фитодобавки на наличие биологически активных веществ показал, что мажорными соединениями в ней являются экдистероиды (в основном гидроксиэкдизон) и флавоноиды (рутин) в суммарной концентрации 13,5 г/кг. По окончании опыта у коров опытной группы, в сравнении с начальными показателями, достоверно ($p < 0,05$) увеличилось количество альбуминов на 16,7% (до $45,3 \pm 2,4$ г/л), кальция на 21,7% ($2,3 \pm 0,01$ – $2,8 \pm 0,02$ ммоль/л). Другие исследуемые маркеры биохимического статуса изменялись недостоверно ($p > 0,05$) и после заключительного анализа крови составляли: аминотрансферазы (АСТ – $30,1 \pm 1,2$ Ед./л, АЛТ – $35,0 \pm 2,8$ Ед./л), мочевина ($5,9 \pm 0,1$ ммоль/л), резервная щелочность ($20,2 \pm 2,6$ об. %СО₂), холестерин ($2,8 \pm 0,1$ ммоль/л). Все исследуемые показатели крови не выходили за рамки референтных значений на протяжении всего эксперимента, что свидетельствовало об отсутствии у Фитодобавки каких-либо негативных свойств. По окончании эксперимента показатели молока коров в опытной группе имели следующие значения: среднесуточный удой – $19,0 \pm 0,2$ кг, жир – $4,3 \pm 0,4$ %, белок – $3,3 \pm 0,1$ %, что превышало результат в контроле на 5,5 %; 0,1 и 0,2 %, а в сравнении с началом эксперимента на 18,7 %, 0,6 и 0,2 % соответственно. Таким образом, в результате применения Фитодобавки в рацион коровам в период лактации отмечена положительная динамика в части ее влияния на удой, качество молока и отсутствие какого-либо негативного воздействия на изучаемые показатели крови.*

Ключевые слова: левзея, серпуха, лабазник, гидроксиэкдизон, рутин, биохимия крови, молочный белок, молочный жир, удой

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0088).

Авторы благодарят главу НПФ КХ «БИО» Н. П. Тимофеева (г. Коряжма, Архангельская область, Россия) и главу СПК колхоз «Плельский» (Сунской район, Кировская область, Россия) И. А. Язынина за содействие в проведении исследований.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Применение Фитодобавки лактирующим коровам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):255-262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>

Поступила: 14.02.2022

Принята к публикации: 29.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

The use of Phytoadditive in lactating cows

© 2022. Alexander A. Ivanovsky✉, Natalya A. Latushkina

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

*The subject for the research was Phytoadditive containing extracts from herbs: *Rhaponticum carthamoides*, *Serratula coronata*, *Filipendula ulmaria*. There has been studied the effect of Phytoadditive on biochemical parameters of blood (total protein, albumins, aminotransferases, urea, total cholesterol, reserve alkalinity, calcium), indicators of milk fat, protein and average daily milk yield of lactating cows at the age of 3 years, which were divided into experimental (Phytoadditive + basic diet) and control (basic diet only) groups of 10 animals per group. Phytoadditive in powder form was administered individually to the diet of animals of the experimental group daily, once at a dose of 10 grams per head per day during 90 days. Analysis of Phytoadditive for the presence of biologically active substances showed that the major compounds in it are ecdysteroids (mainly hydroxyecdysone) and flavonoids (rutin) in a total concentration of 13.5 g/kg. At the end of the experiment in cows of the experimental group, in comparison with the initial indicators, significantly ($p < 0.05$) increased the amount of albumin by 16.7% (up to 45.3 ± 2.4 g/l), calcium by 21.7% (2.3 ± 0.01 – 2.8 ± 0.02 mmol/l). Other studied markers of the biochemical status did not*

change significantly ($p > 0.05$) and after the final blood test they were: aminotransferases (AST – 30.1 ± 1.2 U/l, ALT – 35.0 ± 2.8 U/l), urea (5.9 ± 0.1 mmol / l), reserve alkalinity (20.2 ± 2.6 vol.% CO₂), cholesterol (2.8 ± 0.1 mmol/l). All studied blood parameters did not go beyond the reference values throughout the experiment, which indicated the absence of any negative properties of Phytoadditive. At the end of the experiment, the milk indicators of cows in the experimental group had the following values: milk yield (19 ± 0.2 kg), fat (4.3 ± 0.4 %), protein (3.3 ± 0.1 %), which exceeded the result in control by 5.5 %; 0.1 and 0.2 %, and in comparison with the beginning of the experiment by 18.7 %, 0.6 and 0.2 %, respectively. Thus, as the result of use of Phytoadditives in cows during lactation, a positive trend was noted in terms of its effect on milk yield, milk quality and the absence of any negative effect on the studied blood parameters.

Keywords: *R. carthamoides*, *S. coronata*, *F. ulmaria*, hydroxyecdysone, rutin, blood biochemistry, milk protein, milk fat, milk yield

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 No. 0767-2019-0088).

The authors thank N. P. Timofeev, the chief of SPF AF «BIO» (Koryazhma, Archangelsk region, Russia) and I. A. Iyzynin, chief of agricultural firm «Plelski» (Suna, Kirov region, Russia) for assistance in carrying out the research.

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 citations: Ivanovskiy A. A., Latushkina N. A. The use of phytoadditive in lactating cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):255-262. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>

Received: 14.02.2022

Accepted for publication: 29.03.2022

Published online: 20.04.2022

В настоящее время внимание ученых все больше концентрируется на разработке экологически чистых биодобавок и фармпрепаратов, укрепляющих общую резистентность организма, нормализующих метаболические процессы в нем, оказывающих благоприятное влияние на качество продукции животноводства в целом [1, 2].

Применяемые ранее в качестве кормовых добавок антибиотики, наряду с положительным действием на организм животных, обладали рядом негативных моментов. В частности, оказывали влияние на микробиоценоз желудочно-кишечного тракта, изменяя состав резидентной микрофлоры в сторону превалирования условно-патогенной колонизации. Использование биологически активных веществ (БАВ) природного происхождения для создания фармпрепаратов и биодобавок в качестве лечебно-профилактических средств в ветеринарной медицине представляет определенный интерес, в первую очередь, благодаря их безопасности для организма. Главным источником получения БАВ естественного происхождения являются растения. В них выделен ряд веществ, обладающих лечебно-профилактическим и регулирующим метаболические процессы действием в организме. БАВ растений из легкодоступного сырья могут использоваться как альтернатива химически синтезируемым медикаментам. Огромное количество разнообразных соединений, получа-

емых из растений, оказывают разностороннее влияние на работу органов и систем в организме животных и человека [3, 4, 5, 6].

Особый интерес вызывают фитобиотики – биологически активные комплексы, содержащие БАВ растений. При создании фитобиотических добавок используются экстракты, эфирные масла, органические кислоты, пробиотики, экидистерины, флавоноиды и другие активные соединения [7, 8, 9].

В настоящее время в ЕС введен запрет на применение в животноводстве кормовых антибиотиков¹. В рацион животным стали постепенно вводить фитобиотики, эффективность которых показана в различных отраслях животноводства. Фитобиотики нормализуют микробиоценоз желудочно-кишечного тракта, улучшают функцию эндокринной и иммунной систем в организме, что позитивным образом влияет на состояние здоровья животных [10, 11, 12, 13].

Работы над созданием фитобиотиков и фармпрепаратов из растений для животных проводятся и в нашей стране. На основе нескольких трав создан препарат «Фитагим», используемый для профилактики болезней желудочно-кишечного тракта у телят [14]. На основе морских водорослей разработан «Альгасол», нормализующий обменные процессы в организме свиней и птицы².

¹Борьба с устойчивостью к антибиотикам с позиций безопасности пищевых продуктов в Европе. ВОЗ Европейское региональное бюро. Копенгаген, Дания, 2011. 106 с.

²Ермолина С. А., Созинов В. А. Экстракты морских бурых водорослей и их применение в животноводстве и ветеринарии. Киров: Вятская ГСХА, 2010. 152 с.

Левзея сафлоровидная послужила источником для разработки препарата биоинфузин, содержащего экидистериоды [15]. Биодобавка с серпухой венценосной прошла успешные испытания на лактирующих коровах [16]. Экстракты растений, содержащие экидистериоды, потенцированные иными активными соединениями, представляют интерес с точки зрения использования в ветеринарной медицине. Один из таких фитокомплексов проходит испытания на животных: левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*), серпуха венценосная (*Serratula coronata*) и лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria*). *Rhaponticum carthamoides* и *Serratula coronata* содержат экидистериоды [17], а *Filipendula ulmaria* флавоноиды, танины, аскорбиновую кислоту и соли салициловой кислоты [18]. Композиция из этих растений содержит БАВ широкого спектра действия и является перспективной для изучения влияния на различные системы организма животных в качестве биодобавки или фармпрепарата с целью получения экологически чистого продукта, обладающего широким спектром фармакологического действия.

Цель исследований – изучить влияние Фитодобавки, содержащей экстракт растений (*R. carthamoides*, *S. coronata*, *F. Ulmaria*), на морфобиохимический статус и молочную продуктивность лактирующих коров.

Научная новизна исследований заключается в получении экспериментальных данных о влиянии Фитодобавки на морфологические, биохимические показатели крови, продуктивность и качественные показатели молока коров.

Материал и методы. Работа проводилась в лаборатории ветбиотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и СПК колхоз «Плельский» Сунского района Кировской области. В экспериментах задействованы коровы чернопестрой породы с молочной продуктивностью 5990 ± 55 кг за 305 дней лактации. Предметом исследования служил экстракт фитокомплекса из растений: *R. carthamoides*, *S. coronata*, *F. ulmaria*. Аналитическая часть работы с травами проводилась в КХ «БИО» г. Коряжма, Архангельской области, к.б.н. Н. П. Тимофеевым в соответствии с договором о сотрудничестве. Фитоэкидистериоды в сырье определены методом высокоэффективной обратно-фазовой жидкостной хроматографии [19], флавоноид

рутин определяли спектрофотометрическим методом с использованием комплексообразующей реакции с 1 %-ым спиртовым раствором алюминия хлорида. Оптическую плотность исследуемого раствора определяли на спектрофотометре СФ-46 при длине волны 415 нм³.

Наработка фитокомплекса проводилась по ранее использованной технологии, принцип которой заключается в следующем: травы после усушки до 17-20 % влажности и измельчения на лабораторной мельнице экстрагировали 70 %-ым этанолом (соотношение трава 10 г : этанол 300 мл) в течение 14 суток, затем экстракты из отдельных трав объединяли, смешивали с цеолитом и сушили в термошкафу при температуре 37 °С в течение суток.

Животные, подобранные в эксперимент в лактационном периоде в возрасте 3 лет, были распределены на опытную (фитокомплекс + основной рацион) и контрольную (только основной рацион) группы по 10 голов в каждой. Рацион кормления животных составлялся специалистами хозяйства. Состав суточного рациона лактирующих коров: солома злаковых культур – 2 кг, силос бобово-злаковый – 25 кг, сено клеверо-тимофеечное – 5 кг, комбикорм – 10 кг, в составе которого до 25 % жмыха подсолнечного, зерновая патока (из смеси дробленого зерна ржи, ячменя и овса) – 1,5 кг, кормовой концентрат – 300 г, трикальцийфосфат кормовой – 100 г, соль поваренная – 120 г.

Фитодобавку в сухой форме вводили в рацион животным опытной группы с первого месяца лактации ежедневно, однократно в дозе – 10 грамм (индивидуально после смешивания с кормовым концентратом) на голову в сутки в течение 90 дней. Дозировка была выбрана на основании результатов предыдущих экспериментов, полученных на свиноматках. В начале и по окончании эксперимента исследовалась кровь. Проводились биохимические (общий белок, альбумины, аминотрансферазы, мочевины, общий холестерин, резервная щелочность, кальций) исследования по известным методикам.

Содержание общего белка и альбуминов в сыворотке крови определялось рефрактометрическим методом; аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспартатаминотрансфераза (АСТ) – унифицированным методом Райтмана-Френкеля; креатинин – с помощью набора Vital методом Яффе «по конечной точке» с депротеинизацией;

³Мягчилов А. В. Флавоноиды растений *Fagopyrum sagittatum* Gilib. (гречихи посевной) и серпухи венценосной (*Serratula coronata* L.) (методы выделения, идентификация веществ, перспективы использования: дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2015. 107 с.

мочевина – с помощью набора «МОЧЕВИНА ОЛЬВЕКС» уреазным фенол-гипохлоритным методом; общий холестерин – с помощью набора Vital для колориметрического определения ферментативным методом; сулемовая проба – визуально-химическим методом; резервная щелочность (РЩ) – диффузным методом по И.П. Кондрахину; кальций (Ca) – с помощью набора Vital, колориметрическим методом с о-крезолфталеинкомплексом⁴.

Учёт среднесуточного удоя молока осуществлялся по данным контрольных доек в конце 3-ей декады каждого месяца наблюдений. Показатели молочного жира и белка определялись на приборе «Лактан 1-4». Мате-

матическая обработка данных проведена с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2000. Достоверность полученных результатов – в соответствии с t-критерием Стьюдента при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. После завершения химико-аналитической части работы с растениями установлено, что концентрация исследуемых веществ в добавке составляла 13,5 г/кг. Таким образом, в 10 г Фитодобавки содержалось 135 мг БАВ. Результаты анализа Фитодобавки на наличие целевых БАВ (экдистероиды, флавоноиды) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание экдистероидов и рутина в Фитодобавке /

Table 1 – The content of ecdysteroids and rutin in Phytoadditive

<i>Идентифицированные экдистероиды / Identified ecdysteroids</i>	<i>Методы испытаний / Test methods</i>	<i>Концентрация, г/кг / Concentration, g/kg</i>
20-гидроксиэкдизон / 20-hydroxyecdysone	ОФ-ВЭЖХ / RP-HPLC	6,0
Экдизон / Ecdysone	ОФ-ВЭЖХ / RP-HPLC	0,14
Инокостерон / Inocosterone	ОФ-ВЭЖХ / RP-HPLC	0,36
Сумма экдистероидов / Amount of ecdysteroids	ОФ-ВЭЖХ / RP-HPLC	6,5
Флавоноид рутин / Flavonoid rutin	Спектрофотометр / Spectrophotometer	7,0
Итого БАВ / Total biologically active substances		13,5

Как видно из данных таблицы 1, основным экдистероидом, содержащимся в Фитодобавке, являлся 20-гидроксиэкдизон, концентрация которого составляет до 6,0 г/кг продукта, тогда как на долю инокостерона приходится 0,36, а экдизона 0,14 г/кг. Высокая концентрация экдистероидов в Фитодобавке достигнута за счет их большого содержания в серпухе венценосной. Содержание рутина в добавке составило 7,0 г/кг, основным продуцентом которого являлся лабазник вязолистный.

Исследование крови коров показало, что введение Фитодобавки в рацион животных не оказывало негативного влияния на их клинико-физиологический статус. Результаты биохимических анализов крови даны в таблицах 2 и 3.

Как видно из результатов, представленных в таблице 2, исследуемые биохимические показатели крови коров в группах, в том числе

и контрольной, находились в пределах физиологической нормы. Достоверные ($p < 0,05$) изменения отмечены у коров опытной группы, в части увеличения общего белка (с $68,2 \pm 0,5$ до $77,3 \pm 1,2$ г/л) по сравнению с началом опыта на 13,3 %. Количество альбуминов у коров опытной группы достоверно ($p < 0,05$) увеличилось на 16,7 % (с $38,8 \pm 1,9$ до $45,3 \pm 2,4$ г/л). Альбумины обеспечивают транспорт продуктов обмена, после предварительного гидролиза освобождают аминокислоты, используемые для синтеза специфических белков. Следовательно, тенденция к возрастанию альбуминовой фракции напрямую связана с иммунологическим статусом животных. Белковый состав крови – один из основных показателей, свидетельствующий о физиологическом состоянии животных и уровне метаболических процессов, протекающих в их организме.

⁴Кондрахин И. П., Архипов А. В., Левченко В. И., Таланов Г. А., Фролова Л. А., Новиков В. Э. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник. М.: КолосС, 2004. 520 с.

URL: <http://padabum.com/d.php?id=53369>

Таблица 2 – Показатели белково-минерального и жирового метаболизма в крови коров после применения Фитодобавки ($M \pm m$; $n=10$ в группе) /

Table 2 – Indicators of protein-mineral and fat metabolism in the blood of cows after the use of Phytoadditive ($M \pm m$; $n=10$ in the group)

Группа животных / Animal groups	Общий белок, г/л / Total protein, g/l	Альбумины, г/л / Albumins, g/l	Са, ммоль/л / Ca, mmol/l	Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l
В начале опыта / At the beginning of the experiment				
Опыт / Experiment	68,2 $\pm$ 0,5	38,8 $\pm$ 1,9	2,3 $\pm$ 0,01	2,6 $\pm$ 0,1
Контроль / Control	69,0 $\pm$ 0,2	34,2 $\pm$ 1,1	2,4 $\pm$ 0,01	2,7 $\pm$ 0,2
По окончании опыта / At the end of the experiment				
Опыт / Experiment	77,3 $\pm$ 1,2*	45,3 $\pm$ 2,4*	2,8 $\pm$ 0,02*	2,8 $\pm$ 0,1
Контроль / Control	72,1 $\pm$ 0,1	36,0 $\pm$ 1,5	2,5 $\pm$ 0,02	2,4 $\pm$ 0,1
Референсные. значения** / Reference values**	62-82	28-45	2,1-2,8	1,6-5,0

* $p < 0,05$ в сравнении с собственным результатом в начале опыта; ** по данным⁵ /

* $p < 0.05$ in comparison with their own result at the beginning of the experiment; ** according to data⁵

Содержание Са в сыворотке крови коров опытной группы возросло ($p < 0,05$) на 21,7 %, находясь при этом в границах нормы (с 2,3 $\pm$ 0,01 до 2,8 $\pm$ 0,02 ммоль/л). Кальций является одним из основных макроэлементов, характеризующих общую резистентность организма и состояние костной ткани. Некоторое повышение содержания Са в крови опытной группы коров можно объяснить влиянием экидестероидов, содержащихся в добавке, которые активно включаются в метаболический процесс и способствуют наиболее полному усвоению данного макроэлемента. Остальные

исследуемые показатели изменялись недостоверно ($p > 0,05$). Показатель крови, характеризующий жировой обмен (холестерин), находился в границах нормы у коров как опытной, так и контрольной групп (2,6 $\pm$ 0,1-2,8 $\pm$ 0,1 ммоль/л).

Показатели крови, характеризующие функциональное состояние печени (АСТ, АЛТ) и почек коров (мочевина), кислотно-щелочной баланс в организме (РЩ), свидетельствовали об отсутствии каких-либо достоверных изменений, происходящих в этих органах. Исследуемые маркеры крови находились в пределах допустимых значений (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели кислотно-щелочного клиренса и функционального состояния почек и печени у коров после применения Фитодобавки ($M \pm m$; $n = 10$ в группе) /

Table 3 – Indicators of acid-base clearance and functional state of kidneys and liver after the use of Phytoadditive ($M \pm m$; $n = 10$ in the group)

Группы животных / Animal groups	РЩ, об.%CO ₂ / RS, vol. % CO ₂	Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	АСТ, Ед./л / AST, U/l	АЛТ, Ед./л / ALT, U/l
В начале опыта / At the beginning of the experiment				
Опыт / experiment	19,2 $\pm$ 2,0	5,5 $\pm$ 0,1	32,4 $\pm$ 1,8	37,2 $\pm$ 2,1
Контроль / Control	15,5 $\pm$ 1,1	5,2 $\pm$ 0,2	29,1 $\pm$ 2,2	36,1 $\pm$ 3,9
По окончании опыта / At the end of the experiment				
Опыт / experiment	20,2 $\pm$ 2,6	5,9 $\pm$ 0,1	30,1 $\pm$ 1,2	35,0 $\pm$ 2,8
Контроль / Control	21,0 $\pm$ 5,1	6,0 $\pm$ 0,4	31,6 $\pm$ 1,6	33,1 $\pm$ 1,9
Референсные. значения* / Reference values*	19,0-29,0	3,0-8,8	45,0-110,0	7,0-35,0

* по данным⁶ / * according to data⁶

⁵ Антонов Б. И., Яковлева Т. Ф., Дерябина В. И., Сухая Н. А., Башкиров Г. Г., Растегаева Л. А. Лабораторные исследования в ветеринарии: биохимические и микологические: справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 286 с.

⁶ Кондрахин И. П., Архипов А. В., Левченко В. И., Таланов Г. А., Фролова Л. А., Новиков В. Э. Указ. соч.

На протяжении эксперимента осуществлялось ежедневное наблюдение за клиническим состоянием животных. Клинико-физиологический статус коров в опытной и контрольной группах (поведение, прием корма и воды, дефекация, диурез) находился в норме. Начиная со второго месяца лактации, у коров в опытной группе возрастала молочная про-

дуктивность. К окончанию эксперимента установлено, что исследуемые показатели молока (удой, жир, белок) в опытной группе превышали результат в контроле на 6,0 %; 0,1 и 0,2 %, а в сравнении с началом эксперимента у коров в опытной группе удой, жир и белок увеличились на 18,7 %, 0,6 и 0,2 % соответственно (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели молочной продуктивности коров после применения Фитодобавки (M±m; n = 10 в группе) /

Table 4 – Indicators of milk production of cows after the use of Phytoadditive (M±m; n = 10 in the group)

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group			Опытная группа / Experiment group		
	период лактации, месяц / lactation period, month					
	первый / first	второй / second	третий / third	первый / first	второй / second	третий / third
Среднесуточный удой, кг / Average daily milk yield, kg	17±0,2	18±1,1	18±0,5	16±0,7	18±0,1	19±0,2*
Жир, % / Fat, %	3,8±1,1	3,9±0,5	4,2±0,2	3,7±0,1	4,1 ±0,2	4,3±0,4
Белок, % / Protein, %	3,0±0,1	3,1±0,2	3,1±0,1	3,1±0,3	3,8±0,2*	3,3±0,1

* p<0,05 в сравнении с собственным результатом в начале опыта /

* p<0.05 in comparison with their own result at the beginning of the experiment

Заключение. Анализ Фитодобавки на наличие БАВ показал, что в целевом продукте содержится экстракт биологически активных веществ из растений *R. carthamoides*, *S. coronata*, *F. ulmaria* с концентрацией 13,5 г/кг, основу которых составляют экидистероиды, флавоноид рутин.

По окончании опыта у коров опытной группы, в сравнении с начальными показателями, достоверно ($p < 0,05$) увеличилось количество альбуминов на 16,7 % (до 45,3±2,4 г/л), кальция на 21,7 % (2,3±0,01-2,8±0,02 ммоль/л). Другие исследуемые маркеры биохимического статуса изменялись недостоверно ($p > 0,05$) и после заключительного анализа крови составляли: аминотрансферазы (АСТ – 30,1±1,2 Ед./л, АЛТ – 35,0±2,8 Ед./л), мочевины (5,9±0,1 ммоль/л), резервная щелочность (20,2±2,6 об.%CO₂), холестерин (2,8±0,1 ммоль/л). Все исследуемые

показатели крови не выходили за рамки референтных значений на протяжении всего эксперимента, что свидетельствовало об отсутствии у Фитодобавки каких-либо негативных свойств. Исследуемые показатели молока коров в опытной группе в конце эксперимента имели следующие значения: среднесуточный удой – 19±0,2 кг, жир – 4,3±0,4 %, белок – 3,3±0,1 %, что превышало результат в контроле на 5,5 %; 0,1 и 0,2 %, а в сравнении с собственным результатом в начале опыта на 18,7 %, 0,6 и 0,2 % соответственно.

Таким образом, применение биологически активной добавки, содержащей экидистероиды и флавоноид рутин, показало положительную динамику в части ее влияния на молочную продуктивность коров и отсутствие какого-либо негативного действия на изучаемые показатели крови.

Список литературы

1. Brown A. C. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety, and government regulation in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. Food and Chemical Toxicology. 2017;107:449-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.001>
2. Тимофеев Н. П. Фитобиотики в мировой практике: виды растений и действующие вещества, эффективность и ограничения, перспективы (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):804-825. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.804-825>
3. Тимофеев Н. П. Доступность экидистерона из листовой части левзеи при водной и спиртовой экстракции. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017;(S12):301-304. URL: https://leuzea.ru/sciens/162-timofeev_leuzea_water-extract.pdf
4. Brown A. C. Cancer Related to Herbs and Dietary Supplements: Online Table of Case Reports. Part 5 of 5. Journal of Dietary Supplements. 2018;15(4):556-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1355865>

5. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro / in vivo mechanisms of action. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
6. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>
7. Бagno О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. Н., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(4):687-697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>
8. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. Pp. 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
9. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 187-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
10. Jin L. Z., Dersjant-Li Y., Giannenas I. Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 159-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8>
11. Kiczorowska B., Samolińska W., Al-Yasiry A. R. M., Kiczorowski P., Winiarska-Mieczan A. The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review. *Annals of Animal Science*. 2017;17(3):605-625. URL: https://www.researchgate.net/publication/311618932_The_natural_feed_additives_as_immunostimulants_in_monogastric_animal_nutrition_-_A_review
12. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;(95):673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
13. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 89-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
14. Сисягина Е. П., Сисягин П. Н., Реджепова Г. Р., Убитина О. В. Влияние фитопрепаратов на иммунобиологические параметры телят в постпрофилактический период выращивания. *Ветеринария сельскохозяйственных животных*. 2015;(12):13-17.
15. Ивановский А. А. Биоинфузин – фитопрепарат, повышающий неспецифическую резистентность. *Ветеринарный врач*. 2000;(2):78-81.
16. Ивановский А. А., Милков А. А. Применение фитокомплекса с серпухой венценосной коровам. *Иппология и ветеринария*. 2018;(1):47-52. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32612784>
17. Dinan L., Diah W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
18. Краснов Е. А., Авдеева Е. Ю. Химический состав растений рода *Filipendula* (обзор). *Химия растительного сырья*. 2012;(4):5-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18834482>
19. Пунегов В. В., Савиновская Н. С. Метод внутреннего стандарта для определения экидистероидов в растительном сырье и лекарственных формах с помощью ВЭЖХ. *Растительные ресурсы*. 2001;37(1):97-102. Режим доступа: https://leuzea.ru/direct/leuzea_analysis-61.htm

References

1. Brown A. C. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety, and government regulation in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107:449-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.001>
2. Timofeev N. P. *Fitobiotiki v mirovoy praktike: vidy rasteniy i deystvuyushchie veshchestva, effektivnost' i ogranicheniya, perspektivy (obzor)*. [Phytobiotics in world practice: plant species and active substances, efficiency and limitations, perspectives (review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):804-825. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.804-825>
3. Timofeev N. P. *Dostupnost' ekdisterona iz list'evoy chasti levzei pri vodnoy i spirtovoy ekstraktsii*. [Availability of ecdysterone from leafy part of *Leuzea carthamoides* during aqueous and alcohol extraction]. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya*. 2017;(S12):301-304. (In Russ.). URL: https://leuzea.ru/sciens/162-timofeev_leuzea_water-extract.pdf
4. Brown A. C. Cancer Related to Herbs and Dietary Supplements: Online Table of Case Reports. Part 5 of 5. *Journal of Dietary Supplements*. 2018;15(4):556-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1355865>
5. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro / in vivo mechanisms of action. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
6. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>
7. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. N., Dyadichkina T. V. *Fitobiotiki v kormlenii sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh (obzor)*. [Use of phytobiotics in farm animal feeding]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(4):687-697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>

8. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. Pp. 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
9. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 187-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
10. Jin L. Z., Dersjant-Li Y., Giannenas I. Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 159-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8>
11. Kiczorowska B., Samolińska W., Al-Yasiry A. R. M., Kiczorowski P., Winiarska-Mieczan A. The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review. *Annals of Animal Science*. 2017;17(3):605-625. URL: https://www.researchgate.net/publication/311618932_The_natural_feed_additives_as_immunostimulants_in_monogastric_animal_nutrition_-_A_review
12. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;(95):673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
13. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 89-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
14. Sisyagina E. P., Sisyagin P. N., Redzhepova G. R., Ubitina O. V. *Vliyaniye fitopreparatov na immunobiologicheskie parametry telyat v postprofilakticheskiy period vyrashchivaniya*. [The influence of herbal drugs on immunological parameters of calves in post prophylactic period of rearing]. *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. 2015;(12):13-17. (In Russ.).
15. Ivanovskiy A. A. *Bioinfuzin – fitopreparat, povyshayushchiy nespetsificheskuyu rezistentnost'*. [Bioinfusin is a phytopreparation that increases nonspecific resistance]. *Veterinarnyy vrach*. 2000;(2):78-81. (In Russ.).
16. Ivanovskiy A. A., Milkov A. A. *Primeneniye fitokompleksa s serpuhoy ventsenosnoy korovam*. [Application of a phytocomplex with a *Serratula coronata* cows]. *Ippologiya i veterinariya = Hippology and veterinary*. 2018;(1):47-52. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32612784>
17. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
18. Krasnov E. A., Avdeeva E. Yu. *Khimicheskiy sostav rasteniy roda Filipendula (obzor)*. [The chemical composition of the genus *Filipendula*]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2012;(4):5-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18834482>
19. Punegov V. V., Savinovskaya N. S. *Metod vnutrennego standarta dlya opredeleniya ekdisteroidov v rastitel'nom syr'e i lekarstvennykh formakh s pomoshch'yu VEZhKh*. [The method of internal standard for determination of ecdysteroids in herb and preparation by HPLC analysis]. *Rastitel'nye resursy*. 2001;37(1):97-102. (In Russ.). URL: https://leuzea.ru/direct/leuzea_analysis-61.htm

Сведения об авторах

✉ **Ивановский Александр Александрович**, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ветбиотехнологии, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2984-7219>, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

Латушкина Наталья Александровна, кандидат вет. наук, научный сотрудник лаборатории ветбиотехнологии, 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/0000-0003-2208-5175>

Information about the authors

✉ **Alexander A. Ivanovsky**, DSc in Veterinary science, leading researcher, Head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2984-7219>, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

Natalya A. Latushkina, PhD in Veterinary science, researcher, the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2208-5175>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.263-273>



УДК 631.331.8

Результаты исследования комбинированной сеялки полосного посева семян трав в дернину

© 2022. В. А. Сысуев, С. Л. Дёмшин[✉], С. В. Гайдидей

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

Развитие экологического земледелия обусловило интерес к технологии повышения продуктивности естественных кормовых угодий, заключающейся в полосном посеве трав с механической обработкой в дернине полос, размеры которых обеспечивают успешное развитие всходов без применения химических препаратов. Для осуществления технологии разработаны и серийно выпускались несколько моделей сеялок СДК. Дальнейшим развитием данного вида машин является разработка навесной сеялки СДК-2,8М, предназначенной для прямого полосного посева семян трав в дернину с внесением стартовой дозы минеральных удобрений. Для оценки работоспособности сеялки СДК-2,8М осенью 2022 года на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока проведены стендовые и лабораторно-полевые испытания. Стендовые испытания на высева семян овсяницы луговой и клевера красного показали, что диапазон передаточных отношений сеялки от 0,104 до 0,900 позволяет устанавливать норму высева в интервале 2,5-140,4 кг/га. Посевная часть обеспечивает равномерное распределение семян по катушкам и устойчивость высева каждой катушкой в соответствии с агротехническими требованиями. Отклонение фактической нормы от заданной (6,0 кг/га) на высева семян овсяницы составляет 2,6 %, клевера – 2,3 %; неравномерность высева между катушками для овсяницы – 3,61 %, для клевера – 5,36 %; неустойчивость высева для овсяницы – 4,83 %, для клевера – 6,03 %. Полевые испытания выявили, что сеялка устойчиво выполняет обработку почвы и посев клевера, выдерживает рабочую ширину захвата и установочную глубину обработки. Средняя глубина обработки составила 68 мм, крошение почвы (фракция до 25 мм) – 85,1 %, средняя глубина заделки семян – 16,4 мм, плотность после прикатывания – 1,1 т/м³. Применение рамы оригинальной конструкции позволило уменьшить число сборочных единиц почвообрабатывающей части и вспомогательных механизмов, что снизило массу сеялки на 640 кг в сравнении с СДКП-2,8М при сохранении агротехнических показателей работы.

Ключевые слова: прямой посев, минеральные удобрения, дисковая фреза, сошник, каток прикатывающий, показатели агротехнические

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0094).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Гайдидей С. В. Результаты исследования комбинированной сеялки полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):263-273.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.263-273>

Поступила: 01.02.2022

Принята к публикации: 24.03.2022

Опубликована онлайн: 20.04.2022

Results of research of the combined seeder for strip sowing of grasses into sod

© 2022. Vasilii A. Sysuev, Sergey L. Demshin[✉], Sergey V. Gaididei

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

The development of ecological agriculture has aroused interest to the technology of increasing the productivity of natural forage lands, which consists in strip sowing of grasses with mechanical tillage in the sod of strips, the size of which ensures the successful development of seedlings without the use of chemicals. Several models of seeders SDK have been developed and mass-produced to implement this technology. A further development of this type of machines is the creation of a mounted seeder SDK-2.8M, intended for direct strip sowing of grass seeds into sod with the application of a starting dose of mineral fertilizers. To evaluate the efficiency of the seeder SDK-2.8M in the autumn of 2022, stand and field tests were carried out in the fields of the North-East Federal Research Center. Stand tests on sowing seeds of meadow fescue and red clover showed that the range of gear ratios of the seeder from 0.104 to 0.900 allows to set the seeding rate in the interval of 2.5-140.4 kg/ha. The sowing part ensures uniform distribution of seeds over the feed rolls and the stability of sowing by each feed roll in accordance with agro-

technical requirements. The deviation of the actual seeding rate from preassigned (6.0 kg/ha) for sowing fescue is 2.6%, clover – 2.3%; uneven seeding between feed rolls for fescue – 3.61%, for clover – 5.36%; seeding instability for fescue – 4.83%, for clover – 6.03%. Field tests revealed that the seeder stably performs tillage and clover sowing, maintains the working width and the installation depth of tillage. The average tillage depth was equal to 68 mm, the crumbling of the soil (fraction up to 25 mm) – 85.1%, the average depth of seeding – 16.4 mm, density after rolling – 1.1 g/cm³. The use of a frame of the original design made it possible to reduce the number of assembly units of the tillage part and auxiliary mechanisms, which reduced the mass of the seeder by 640 kg, in comparison with SDKP-2.8M, while maintaining agrotechnical performance indicators.

Keywords: direct sowing, mineral fertilizers, disc milling cutter, coulter, packing roller, agrotechnical indicators

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0094).

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

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

For citation: Sysuev V. A., Demshin S. L., Gaididei S. V. Results of research of the combined seeder for strip sowing of grasses into sod. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):263-273. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.263-273>

Received: 01.02.2022

Accepted for publication: 24.03.2022

Published online: 20.04.2022

Анализ тенденций развития сельского хозяйства показал, что доля продукции органического земледелия в мировом сельскохозяйственном производстве неуклонно возрастает, и в последние годы этот процесс ускорился [1, 2, 3, 4]. По данным Института органического сельского хозяйства (FiBL), за 2019 год в России площадь земель, относящихся к системе органического земледелия, составляет 674,4 тыс. га, или 0,3 % от общей площади. Для сравнения, не учитывая развитые страны Европы и Канаду, где процент земель, занятых органическим сельским хозяйством, существенно превышает 5,0 %, площадь сельскохозяйственных земель под органическим земледелием в Китае – 2216 тыс. га, или 0,4 %, в Индии – 2299 тыс. га, или 1,3 %, в Аргентине – 3672 тыс. га, или 2,5 % [5]. По оценке Минсельхоза РФ в настоящее время в России имеется более 10 млн га, которые могут быть введены в сельскохозяйственный оборот и большая часть из них пригодна для использования в системе органического земледелия, что свидетельствует о достаточно высоком потенциале развития этого сектора сельского хозяйства в нашей стране¹.

Катализатором ускорения роста данного сегмента сельскохозяйственного производства может послужить намеченный на текущее десятилетие переход к зеленой экономике, при котором доля продукции органического земледелия должна кратно увеличиться к

2030 году². В этих условиях отечественному сельскому хозяйству необходимы научно обоснованные, ресурсосберегающие агротехнологии, созданные на принципах агроландшафтного земледелия и позволяющие в сжатые сроки запускать производства для выпуска экологически чистой продукции.

Анализ природно-климатических и социально-экономических условий сельскохозяйственного производства в Евро-Северо-Восточном регионе России показал, что перспективным направлением развития может стать производство продукции животноводства, соответствующей требованиям органического земледелия. Для обеспечения полноценного, сбалансированного по содержанию питательных веществ рациона животных внимание привлекают природные кормовые угодья региона, потенциал которых достаточен для полного обеспечения животноводства экологически чистыми кормами. При этом большая доля лугов и пастбищ требует проведения работ по восстановлению продуктивности и улучшению ботанического состава травостоев. Перспективным агроприемом повышения продуктивности кормовых угодий является прямой полосной посев семян ценных видов трав, осуществляемый сеялками с дисковыми фрезами в качестве сошников [6, 7, 8], который при минимальных капитальных вложениях обладает высокой эффективностью и экологически безопасен [9, 10, 11].

¹Органика на 100 %. Информационный бюллетень Минсельхоза России. 2019;(1):46.

URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/byulleten/arkhiv-vypuskov>

²Папцов А. Г., Алтухов А. И., Кашеваров Н. И., Першукевич П. М., Денисов А. С., Рудой Е. В. и др. Прогноз научно-технологического развития отрасли растениеводства, включая семеноводство и органическое земледелие России, в период до 2030 года. Новосибир. гос. аграр. ун-т, Сиб. федер. центр агробиотехнологий РАН, ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, ФНИЦ ВНИИЭСХ. Новосибирск: Изд-во НГАУ «Золотой колос», 2019. 100 с. URL: <https://nsau.edu.ru/file/757891?get=a70a565f4138c62b15cedaa38529cfac2>

Цель исследования – оценить эффективность работы навесной сеялки СДК-2,8М, предназначенной для осуществления прямого полосного посева семян трав в дернину с одновременным внесением стартовой дозы минеральных удобрений

Научная новизна работы заключается в получении агротехнических и эксплуатационно-технологических показателей опытного образца навесной сеялки СДК-2,8М, подтверждающих обоснованность конструкторских решений по повышению эффективности прямого посева семян трав в дернину.

Материал и методы. Согласно предложенной конструктивно-технологической схеме

сеялки полосного посева семян трав в дернину [12] разработан её опытный образец – навесная комбинированная сеялка СДК-2,8М для тракторов класса 14 кН (рис. 1). Сеялка предназначена для осуществления полосной обработки почвы и прямого посева семян трав в дернину лугов и пастбищ с одновременным внесением стартовой дозы минеральных удобрений. Использование сеялки возможно во всех агроландшафтных зонах РФ за исключением районов, почвы которых засорены камнями. Сеялка СДК-2,8М позволит заменить в системе машин ранее выпускавшиеся дернинные сеялки серии СДК, а также их аналоги различных производителей [13, 14].

а / а



б / б



Рис. 1. Опытный образец сеялки СДК-2,8М полосного посева семян трав в дернину: а – вид спереди, б – вид сзади

Fig. 1. A prototype seeder SDK-2.8M for strip sowing of grass seeds into sod: a – front view, b – rear view

Сеялка полосного посева семян трав в дернину СДК-2,8М представляет собой навесную машину и состоит из рамы с опорно-приводными колесами, на которой расположены почвообрабатывающая часть сеялки, включающая центральный редуктор с трансмиссионными валами, приводы фрезерных

сошников (фрезерные секции) с дисковыми фрезами, оборудованными Г-образными ножами, защитные кожухи и посевная часть сеялки, состоящая из семятуковых ящиков с семя- и тукопроводами, механизма передач, сошников и прикатывающих катков.

Техническая характеристика и кинематическая схема сеялки СДК-2,8М представлены в таблице 1 и на рисунке 2. Для возможности сравнения в таблице приведены технические характеристики её прототипа – полунесной сеялки СДКП-2,8М.

Рама сеялки представляет собой сварную конструкцию в виде пространственной фермы из профильных труб с поперечными связями из листового проката. В передней центральной

части рамы установлен замок автосцепки. Под центральным брусом располагается кронштейн крепления центрального редуктора и вдоль этого бруса – промежуточные опоры трансмиссионного вала. На дальних от трактора брусках размещаются кронштейны под нажимные штанги соответственно фрезерных сошников и прикатывающих катков. Опорно-приводные колеса смещены назад, что облегчает доступ к карданному валу и фрезерным секциям.

Таблица 1 – Технические характеристики опытного образца сеялки полосного посева семян в дернину СДК-2,8М и сеялки СДКП-2,8М /

Table 1 – Technical characteristics of the prototype seeder for strip sowing of seeds into sod SDK-2.8M and seeder SDKP-2.8M

Показатель / Indicator	По ТЗ / According to technical task	СДК-2,8М / SDK-2.8M	СДКП-2,8М / SDKP-2.8M
Тип изделия / Product type	Навесная / Mounted	Навесная / Mounted	Полуприцепная / Semi-trailer
Агрегатирование с тракторами класса / Aggregated with tractors of a traction class	14-20 кН / kN	МТЗ-82 / MTZ-82	
Производительность за час основного времени, га/ч / Efficiency of basic time, ha/h	До / Up to 1.2	0,7	0,71
Рабочая скорость, км/ч / Working speed, km/h	До / Up to 4.0	2,6	2,5
Ширина захвата, м / Working width, m	2,8	2,8	2,85
Ширина полосы, см / Stripe width, cm	11	11	11
Глубина обработки фрезами, см / Depth of tillage, cm	4,5 и 6,5 / 4.5 and 6.5	4,5 и 6,5 / 4.5 and 6.5	4,5 и 6,5 / 4.5 and 6.5
Число технологических операций / Number of technological operations	Нет данных / No data	4	4
Вместимость ящика, дм ³ / Capacity of the bunker dm ³ : - для туков / for fertilizers - для семян / for seeds	Нет данных / No data	260 200	300 90
Диапазон передаточных отношений сеялки / The range of gear ratios of the seeder: - высев семян / sowing seeds - внесение удобрений / application of fertilizers	Нет данных / No data	0,104...0,900 0,250...0,608	0,072...0,618 0,117...0,927
Габаритные размеры, мм / Overall dimensions, mm: - длина / length - ширина / width - высота / height	До / Up to 1800 До / Up to 3000 До / Up to 1400	1600 3120 1300	3130 3270 1640
Масса, кг / Mass, kg	До / Up to 900	920	1560
Металлоёмкость, кг/м / Specific metal content, kg/m	Нет данных / No data	328,5	557,1

Центральный редуктор является коническим одноступенчатым с передаточным отношением $i = 0,8$. Трансмиссионный вал квадратного сечения предназначен для передачи крутящего момента от центрального редуктора к приводам фрезерных рабочих органов

Секции приводов дисковых фрез (4 шт.) в виде одноступенчатых цепных редукторов установлены на трансмиссионных валах и служат для передачи крутящего момента от

ВОМ трактора к дискам, на которых закреплены по три левых и три правых Г-образных ножа. Для предотвращения разбрасывания почвы и с целью создания безопасных условий работы обслуживающего персонала диски с Г-образными ножами закрыты защитными кожухами. Для выравнивания поверхности измельченной почвы к задней части кожуха крепится щиток-уплотнитель.

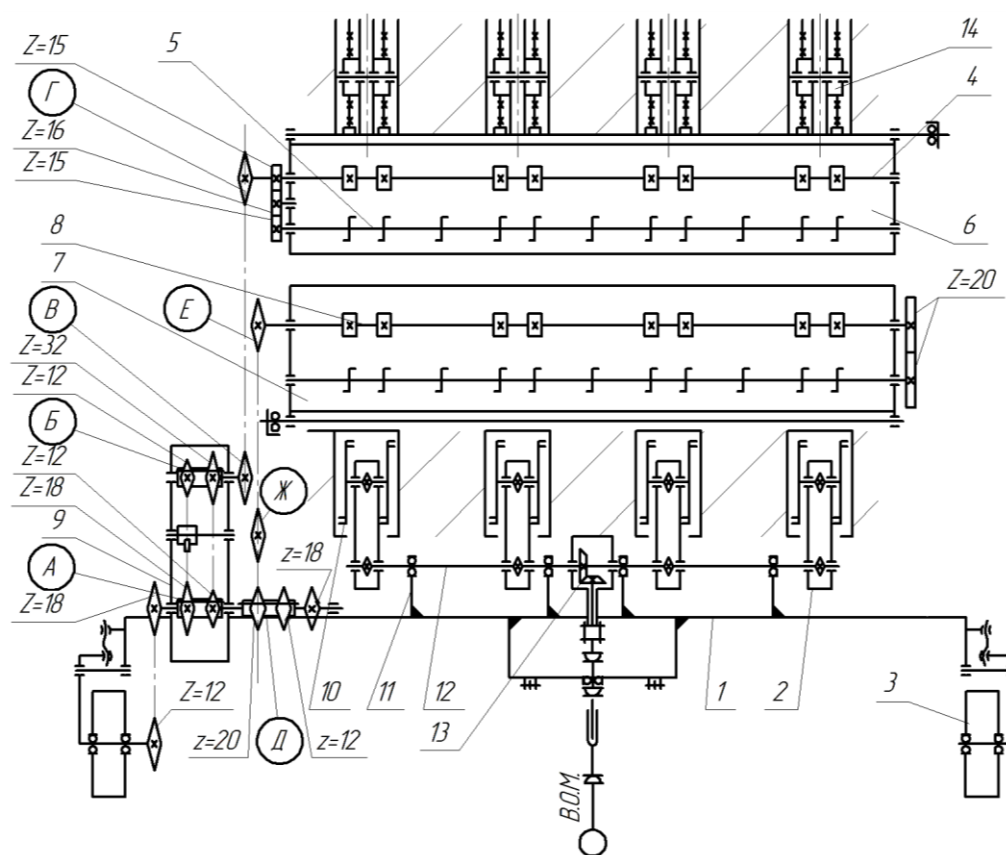


Рис. 2. Схема кинематической сеялки полосного посева СДК-2,8М: 1 – рама; 2 – секция привода; 3 – колесо опорно-приводное; 4, 8 – валы семя- и туковывсевающих аппаратов; 5 – ворошилка; 6, 7 – бункеры для семян и туков; 9 – коробка передач; 10 – бороздовскрыватель фрезерный; 11 – опора вала; 12 – вал трансмиссионный; 13 – редуктор центральный; 14 – каток прикатывающий /

Fig. 2. The kinematic scheme of the seeder for strip sowing SDK-2.8M: 1 – frame; 2 – drive section; 3 – support-drive wheel; 4, 8 – shafts of seed- and fertilizer feed rolls; 5 – agitator; 6, 7 – bunkers for seeds and fertilizers; 9 – gearbox; 10 – milling cutter; 11 – shaft support; 12 – transmission shaft; 13 – central reducer; 14 – packing roller

Ранее проведенными исследованиями по данной теме была подтверждена эффективность вынесения из зоны работы фрезерного бороздовскрывателя семя- и тукозаделывающей части сошниковой группы сеялки в виде килевидных сошников, закрепленных на пружинных подвесах между кожухом фрезерной секции и катком [15]. Поэтому для выполнения в дальнейшем сравнительных исследований различных конструкций сошниковой группы сеялки при выборе её оптимального варианта две фрезерных секции (бороздовскрыватели) оборудованы серийными сошниками сеялок СДК, высеваящими семена трав и удобрения под кожух дисковых фрез. На двух других фрезерных секциях оставлено место между защитным кожухом и катками под установку изучаемых вариантов сошниковых групп.

Семятуковый ящик образован двумя отделениями: передним для минеральных удобрений и задним для семян. Для подачи туков и семян к высеваящим аппаратам и

разрушения сводов в отделениях ящиков расположены шнеки-ворошители. Сеялка оснащена катушечными высеваящими аппаратами, унифицированными с аппаратами сеялки СО-4,2. Семявысевающие аппараты выполнены с регулируемой длиной рабочей части катушек. Туковывсевающие аппараты – катушечные штифтовые, с групповым опорожнением и нерегулируемой длиной рабочей части катушки. Клапаны аппаратов закреплены на валу опорожнения. Семявысевающие аппараты соединены спирально-ленточными семяпроводами, а туковывсевающие аппараты – резиновыми гофрированными тукопроводами с воронками семятуконаправителей.

Привод туко- и семявысевающих аппаратов сеялки осуществляется от опорно-приводного колеса посредством цепных передач. Механизм передач (рис. 2, табл. 2) обеспечивает шесть передаточных отношений на вал семявысевающих аппаратов и четыре передаточных отношения на вал туковывсевающих аппаратов.

Таблица 2 – Передаточные отношения на валы семя- и туковывсевающих аппаратов сеялки СДК-2,8М /
Table 2 – Gear ratios on the shafts of seed and fertilizer feed rolls of the seeder SDK-2.8M

Количество зубьев звёздочек / Number of teeth of sprockets							Передаточное отношение / Gear ratio
А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	
12	32	15	36	-	-	-	0,104
18	32	15	36	-	-	-	0,156
12	12	15	36	-	-	-	0,278
18	12	15	36	-	-	-	0,417
12	32	36	15	-	-	-	0,600
18	32	36	15	-	-	-	0,900
-	-	-	-	12	32	18	0,250
-	-	-	-	20	32	18	0,417
-	-	-	-	12	18	32	0,444
-	-	-	-	20	18	32	0,608

Для определения агротехнических показателей работы сеялки СДК-2,8М осенью 2022 года на базе ФАНЦ Северо-Востока проведены ведомственные испытания. В процессе стендовых испытаний оценивалось качество высева сеялкой посредством регистрации показателей равномерности распределения посевного материала высевающими аппаратами в условиях стационара. Для исследования использовались семена овсяницы луговой и клевера красного.

Основной задачей лабораторно-полевых испытаний сеялки СДК-2,8М являлась оценка качества обработки почвы и посева в производственных условиях, которая включала определение: фракционного состава, плотности, стабильности ширины и глубины профрезерованной полосы; оценка качества посева – фактической нормы высева, средней глубины заделки семян, равномерности распределения семян и числа семян, не заделанных в почву, которые определены согласно ГОСТ^{3,4}.

В ходе лабораторно-полевых испытаний сеялка СДК-2,8М агрегатировалась с трактором МТЗ-82. Исследования проводились на типичной для природно-климатических условий Северо-Восточного региона Европейской части России дерново-подзолистой почве среднесуглинистого механического состава при влаж-

ности $W = 19,4\%$ и твёрдости $P = 2,1$ МПа, которые определялись непосредственно перед проведением опыта в пяти точках участка (в центре и четырех угловых точках) на глубине 0-0,1 м в соответствии с ГОСТ⁵.

Результаты и их обсуждение. Оценка технических параметров сеялки СДК-2,8М (табл. 1) показала, что отказ от полуприцепной схемы компоновки рабочих органов сеялки, применение рамы оригинальной конструкции и единого семятукового ящика позволило существенно уменьшить число сборочных единиц почвообрабатывающей и посевной части. Практически полностью из конструкции исключены вспомогательные механизмы: перевода сеялки из рабочего в транспортное положение; привода высевающих аппаратов; подсоединения сеялки к трактору в виде сниги и т. д. В конечном итоге это обеспечило снижение массы сеялки СДК-2,8М в сравнении с сеялкой СДКП-2,8М на 640 кг, или на 41,0 % при сохранении основных функциональных возможностей машины. Незначительное превышение массы опытного образца сеялки, относительно заданного в ТЗ, должно быть устранено при дальнейшей замене сборочных единиц, заимствованных у сеялок СДК, на менее металлоёмкие.

³ГОСТ 31345-2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2018. 58 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/699/69927.pdf>

⁴ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для мелкой и поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016. 46 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293753/4293753893.pdf>

⁵ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788522.pdf>

Проведенные стендовые исследования СДК-2,8М с использованием семян овсяницы луговой и клевера красного (посевные качества семян соответствуют требованиям⁶) показали, что посевная часть сеялки обеспечивает равномерное распределение посевного материала по катушкам и устойчивость высева

каждой катушкой в соответствии агротехническим требованиям, предъявляемым к системе высева семян [16]. Диапазон передаточных отношений i от 0,104 до 0,900 позволяет устанавливать норму высева семян в интервале 2,5-140,4 кг/га (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты стендовых испытаний сеялки СДК-2,8М / Table 3 – The results of stand tests of the seeder SDK-2.8M

Показатель / Indicator	Культура / Grass	
	овсяница луговая / meadow fescue	клевер красный / red clover
Высевающая способность по семенам, кг/га / Sowing capacity for seeds, kg/ha:		
- минимальная: при длине рабочей части катушки 10/4* мм и передаточном отношении $i = 0,104$ / minimum: with the length of the working part of the feed roll 10/4* mm and the gear ratio $i = 0.104$;	2,47	2,96
- максимальная: при длине рабочей части катушки 35 мм и передаточном отношении $i = 0,278/0,900$ / maximum: with the length of the working part of the feed roll 35 mm and the gear ratio $i = 0.278/0.900$ *	49,7	140,4
Неравномерность высева между катушками при длине рабочей части 10/4* мм, передаточном отношении $i = 0,156$ и норме высева 6/6* кг/га, % / Unevenness of seeding between the feed rolls with the length of the working part 10/4* mm, the gear ratio $i = 0.156$ and a the seeding rate 6/6* kg/ha, %	3,61	5,36
Неустойчивость высева катушками при длине рабочей части 10/4* мм, передаточном отношении $i = 0,156$ и норме высева 6/6* кг/га, % / Instability of seeding between the feed rolls with the length of the working part 10/4* mm, the gear ratio $i = 0.156$ and a the seeding rate 6/6* kg/ha, %	4,83	6,03
Фактическая норма высева, кг/га / Actual seeding rate, kg/ha	6,15	5,87
Отклонение фактической нормы высева от заданной, % / Deviation of the actual seeding rate from preassigned, %	2,6	2,3

* Значения показателей, относящиеся к высеву семян клевера красного /

* Values of indicators related to the sowing of red clover seeds

Высевающая способность сеялки по минимальным дозам высева семян овсяницы (2,47 кг/га) и клевера (2,96 кг/га) не вполне соответствует требованиям СТО АИСТ⁷ (2,0 кг/га), но полностью выполняет агротехнические требования на полосной подсев семян клевера красного и овсяницы луговой (3-4 кг/га). Неравномерность высева между отдельными аппаратами и неустойчивость общего высева семян клевера и овсяницы соответствует требованиям СТО АИСТ⁸, допускающим величины данных показателей на высева семян трав не более 8,0 и 9,0 % соответ-

ственно. Дробление семян клевера составляет 0,26 %, дробление семян овсяницы не выявлено.

Для определения агротехнических и эксплуатационно-технологических показателей работы опытного образца сеялки СДК-2,8М проведены лабораторно-полевые испытания (табл. 4). В ходе испытаний проводился полосной посев семян клевера красного в стерню клеверного травостоя первого года пользования. Посев осуществляли после скашивания при высоте стерни более 8,0 см, что превышает значение показателя, заложенного в ТЗ.

⁶ГОСТ Р 52325. Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 22 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293853/4293853613.pdf>

⁷СТО АИСТ 5.6-2018 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 30 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/e87/e87108987605c3b06fd03675bafb9b0e.pdf>

⁸Там же.

Таблица 4 – Агротехнические и эксплуатационно-технологические показатели при лабораторно-полевых испытаниях сеялки СДК-2,8М /

Table 4 – Agrotechnical and exploitation-technological indicators during laboratory and field tests of the SDK-2.8M seeder

Показатель / Indicator	По ТЗ / According to technical task	По результатам испытаний / According to test results
Культура / Grass	-	Клевер красный / Red clover
Скорость движения, м/с / Speed of movement, m/s	До / Up to 4.0	2,6
Рабочая ширина захвата, м / Working width, m	2,8	2,8
Ширина полосы, мм / Stripe width, mm	110±5	114
Длина рабочей части катушки, мм / Length of the working part of the feed roll, mm	-	5
Передаточное отношение привода семявысевающих аппаратов / Gear ratio of the seeder	-	0,104
Норма высева, кг/га / Seeding rate, kg/ha:		
- заданная / specified	2...30	5,0
- фактическая / actual	-	4,7
- отклонение от заданной, % / deviation from the specified, %	До / Up to 4.0	6,0
Глубина обработки, мм / Depth of a tillage, mm:	-	
- заданная / specified	45-65	65
- средняя / average	-	68
- среднее квадр. отклонение / standard deviation	-	+7
- коэффициент вариации, % / coefficient of variance, %	-	10,6
Степень крошения почвы, % / Degree of soil crumbling, %:		
фракции, мм / fractions, mm: до / up to 10	-	78,9
10-25	-	6,2
25-50	-	5,9
50-100	-	9,0
Глубина заделки семян, мм / Planting depth of seeds, mm:		
- заданная / specified	5-40	10
- средняя / average	-	16,4
- среднее квадр. отклонение / standard deviation	-	+7,2
- коэффициент вариации, % / coefficient of variance, %	-	46,5
Плотность почвы после посева, г/см ³ / Soil density after sowing, g/cm ³	Более 1,0 / More than 1.0	1,1
Число не заделанных семян, шт./м ² / Number of uncovered seeds, pcs/m ²	-	Не наблюдалось / Was not observed

Агротехническая оценка опытного образца СДК-2,8М показала, что сеялка устойчиво выполняет технологический процесс прямого посева семян трав в дернину, обеспечивая требуемую глубину обработки почвы и заделки семян. Фактическая глубина обработки почвы фрезерными сошниками соста-

вила 68 мм, что практически соответствует установочной глубине обработки 65 мм. Степень крошения, плотность и показатели стабильности глубины обработки почвы соответствуют агротехническим требованиям и требованиям СТО АИСТ⁹ к почвообрабатывающим и посевным машинам.

⁹Там же.

К агротехническим параметрам, значения которых не удовлетворяют требованиям СТО АИСТ¹⁰, следует отнести величину отклонения фактической нормы высева от заданной, составляющую 6,0 % (по требованиям ТЗ – не более 4,0 %), и величину отклонения фактической глубины заделки семян от заданной, равную 6,4 мм (для семян трав не более +5 мм [16]). В первом случае несоответствие вызвано тем, что высев семян проводили в зоне минимальных значений высевающей системы сеялки. Механизм изменения передаточного отношения привода высевающих аппаратов обеспечивает широкий диапазон нормы высева, но применительно к посеву трав, который характеризуется достаточно малыми дозами семян (2-30 кг/га), он смещен в зону более высоких норм высева, что не критично и будет устранено посредством корректировки передаточного отношения механизма привода высевающих аппаратов.

Во втором случае превышение допустимого отклонения фактической глубины заделки семян от заданной вызвано тем, что при испытаниях высев семян трав осуществлялся серийными фрезерными сошниками сеялки СДК-2,8, конструкция которых выполняет

подачу семян трав и гранул удобрений для высева под кожух фрезы. В дальнейшей работе они будут заменены на сошниковые группы новой конструкции, преимущество которых при посеве семян трав подтверждено ранее проведенными исследованиями [17].

Выводы. Разработан опытный образец навесной сеялки СДК-2,8М для прямого посева трав в дернину с внесением стартовой дозы минеральных удобрений и проведена оценка его эффективности. Агротехническая оценка сеялки показала, что её посевная часть обеспечивает диапазон передаточных отношений 0,104-0,900 и норму высева 2,5-140,4 кг/га. Отклонение нормы высева составляет 2,3-2,6 %, неравномерность высева – 3,61-5,36 %, неустойчивость высева – 4,83-6,03 %. Обработку почвы и посев сеялка выполняет устойчиво, выдерживает рабочую ширину захвата. Средняя глубина обработки составила 68 мм, содержание фракции почвы до 25 мм – 85,1 %, средняя глубина заделки семян – 16,4 мм, плотность после прикатывания – 1,1 г/см³. Использование в конструкции сеялки рамы оригинальной конструкции позволило уменьшить число сборочных единиц и снизить массу на 640 кг в сравнении с сеялкой СДКП-2,8М.

Список литературы

1. Kirchmann H., Bergstrom L. (Eds.) Organic Crop Production – Ambitions and Limitations. Dordrecht, Springer, 2008. 244 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9316-6>
2. Рубанов И. Н., Фомин А. А. Органическое сельское хозяйство: распространение и перспективы развития в Российской Федерации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2018;(6):50-55. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-16095>
3. Серегина Т. А., Жильников А. А., Мажайский Ю. А. Ограничения и резервы развития органического земледелия. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(5):109-116. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46297676>
4. Ван Мансвельт Я. Д., Темирбекова С. К. Органическое сельское хозяйство: принципы, опыт и перспективы. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):478-486. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.478rus>
5. Willer H., Trávníček J., Meierand C., Schlatter B. (Eds.) The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2021. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn, 2021. (v20210301). URL: <http://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2021.html>
6. Зотов А. А., Косолапов В. М., Кобзин А. Г., Трофимов И. А., Уланов А. Н., Шевцов А. В., Шельменкина Х. Х., Шукин Н. Н. Сенокосы и пастбища на осушаемых землях Нечерноземья: монография. Кокшетау: ИП «Изотова К. У.», 2012. 1198 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18823927>
7. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International. 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-al298e.pdf>
8. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses. URL: <http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf>
9. Соколов А. В., Замана С. П., Патлай В. В., Федоровский Т. Г., Киндсфатер В. Я. Совершенствование технологического процесса и технических средств для прямого подсева трав в дернину природных кормовых угодий. Кормопроизводство. 2012;(4):44-46. Режим доступа: <http://kormoproizvodstvo.ru/files/arhiv/4.12.pdf>

¹⁰ Там же.

10. Сысуев В. А., Ковалев Н. Г., Кормищиков А. Д., Курбанов Р. Ф., Пятин А. М., Талипов Н. Т., Дёмшин С. Л. Рекомендации по улучшению лугов и пастбищ в Северо-Восточном регионе Европейской части России. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 116 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>
11. Ревенко В. Ю., Белоусов М. М. Результаты испытаний машины для полосного подсева трав в дернину. Международная агроинженерия. 2014;(4 (12)):53-61. Режим доступа: <http://www.spcac.kz/uploads/images/2014%204.pdf>
12. Sysuev V. A., Kurbanov R. F., Demshin S. L., Saitov V. E., Doronin M. S. Parameters and operating modes of the coulter group of the sod seeder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723(2):022050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022050>
13. Полищук Ю. В., Лаптев Н. В., Комаров А. П. Комбинированные орудия для полосного подсева в технологии поверхностного улучшения старовозрастных многолетних трав. Научное обеспечение животноводства Сибири: мат-лы V Междунаро. научн.-практ. конф. (г. Красноярск, 13-14 мая 2021 года). Сост. Л. В. Ефимова. КрасНИИЖ ФИЦ КНЦ СО РАН. Красноярск, 2021. С. 52-56. Режим доступа: <http://niizh.krasn.ru/wp-content/uploads/2021/05/Сборник-2021.pdf>
14. Курбанов Р. Ф., Созонтов А. В. Эффективность технологии многокомпонентного полосного посева многолетних трав в дернину. Пермский аграрный вестник. 2017;(3 (19)):40-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
15. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления: пат. №2641073 (Российская Федерация). Заяв. №2016108377: заяв. 09.03.2016; опубл. 15.01.2018. Бюл. №2. 11 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
16. Саакян Д. Н. Контроль качества механизированных работ в полеводстве. М.: Колос, 1973. 264 с.
17. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Повышение качества полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5 (60)):63-68. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008779>

References

1. Kirchmann H., Bergstrom L. (Eds.) Organic Crop Production – Ambitions and Limitations. Dordrecht, Springer, 2008. 244 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9316-6>
2. Rubanov I. N., Fomin A. A. *Organicheskoe sel'skoe khozyaystvo: rasprostraneniye i perspektivy razvitiya v Rossiyskoy Federatsii*. [Organic agriculture: distribution and development prospects in the Russian Federation]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2018;(6):50-55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-16095>
3. Seregina T. A., Zhilnikov A. A., Mazhaysky Yu. A. *Ogranicheniya i rezervy razvitiya organicheskogo zemledeliya*. [Limitations and reserves of organic farming development]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2021;(5):109-116. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46297676>
4. Van Mansvelt Ya. D., Temirbekova S. K. *Organicheskoe sel'skoe khozyaystvo: printsipy, opyt i perspektivy*. [General position of organic agriculture in Western Europe: concept, practical aspects and global prospects]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):478-486. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.478rus>
5. Willer H., Trávníček J., Meierand C., Schlatter B. (Eds.) The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2021. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn, 2021. (v20210301). URL: <http://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2021.html>
6. Zotov A. A., Kosolapov V. M., Kobzin A. G., Trofimov I. A., Ulanov A. N., Shevtsov A. V., Shel'menkina Kh. Kh., Shchukin N. N. *Senokosy i pastbishcha na osushaemykh zemlyakh Nechernozem'ya*. [Hayfields and pastures on the drained lands of the Non-Chernozem region]. Kokshetau: IP «Izotova K. U.», 2012. 1198 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18823927>
7. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International. 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-al298e.pdf>
8. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses. URL: <http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf>
9. Sokolov A. V., Zamana S. P., Patlay V. V., Fedorovskiy T. G., Kindsfater V. Ya. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa i tekhnicheskikh sredstv dlya pryamogo podseva trav v derninu prirodnikh kormovykh ugodiy*. [Improving the technological process and means for direct grasses undersowing into grassland sod of natural fodder lands]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2012;(4):44-46. (In Russ.). URL: <http://kormoproizvodstvo.ru/files/arhiv/4.12.pdf>
10. Sysuev V. A., Kovalev N. G., Kormishchikov A. D., Kurbanov R. F., Pyatin A. M., Talipov N. T., Demshin S. L. *Rekomendatsii po uluchsheniyu lugov i pastbishch v Severo-Vostochnom regione Evropeyskoy chasti*

Rossii. [Recommendations for improving of meadows and pastures in North-Eastern region of the European part of Russia]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2007. 116 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>

11. Revenko V. Yu., Belousov M. M. *Rezultaty ispytaniy mashiny dlya polosnogo podseva trav v derninu*. [Results of tests of the car for band podsev of herbs in dernina]. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya* = International Agro-engineering. 2014;(4 (12)):53-61. (In Kazakhstan). URL: <http://www.spsae.kz/uploads/images/2014%204.pdf>

12. Sysuev V. A., Kurbanov R. F., Demshin S. L., Saitov V. E., Doronin M. S. Parameters and operating modes of the coulter group of the sod seeder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723(2):022050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022050>

13. Polishchuk Yu. V., Laptev N. V., Komarov A. P. *Kombinirovannye orudiya dlya polosnogo podseva v tekhnologii poverkhnostnogo uluchsheniya starovozrastnykh mnogoletnikh trav*. [Combined implements for strip sowing in the technology of surface improvement of old-growth perennial grasses]. *Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri: mat-ly V Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf. (g. Krasnoyarsk, 13-14 maya 2021 goda)*. [Scientific support of animal husbandry in Siberia: Proceedings of the V International scientific and practical conference (Krasnoyarsk, May 13-14, 2021)]. *Sost. L. V. Efimova. KrasNIIZh FITs KNTs SO RAN*. Krasnoyarsk, 2021. pp. 52-56. URL: <http://niizh.krasn.ru/wp-content/uploads/2021/05/Сборник-2021.pdf>

14. Kurbanov R. F., Sozontov A. V. *Effektivnost' tekhnologii mnogokomponentnogo polosnogo poseva mnogoletnikh trav v derninu*. [An efficiency of a technology of multi-component strip sowing of perennial grasses in sod]. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2017;(3 (19)):40-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009673>

15. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. Method of seeding grass seeds into sod and seeding machine for its implementation: Patent RF, no. 2641073, 2018. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>

16. Saakyan D. N. *Kontrol' kachestva mekhanizirovannykh rabot v polevodstve*. [Quality control of mechanized works in field crops]. Moscow: Kolos, 1973. 264 p.

17. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. *Povyshenie kachestva polosnogo poseva semyan trav v derninu*. [Improvement quality of strip sowing of grasses' seeds into a sod]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(5 (60)):63-68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008779>

Сведения об авторах

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

✉ **Дёмшин Сергей Леонидович**, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru,

Гайдидей Сергей Владимирович, соискатель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6112-5411>

Information about the authors

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

✉ **Sergey L. Demshin**, DSc in Engineering, head of the laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Sergey V. Gaididei, applicant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6112-5411>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ПАМЯТИ УЧЕНОГО
КЕДРОВА ЛИДИЯ ИВАНОВНА



14 апреля 2022 г. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока прошло расширенное заседание ученого совета, посвященное памяти выдающегося селекционера Лидии Ивановны Кедровой. В числе приглашенных были родственники, близкие друзья и коллеги, с которыми Лидия Ивановна проработала долгие годы. Много добрых, теплых, трогательных слов было сказано в ее адрес. Кульминацией мероприятия был просмотр документального фильма «Русское поле», снятого к 80-летию юбилею ученого.

Судьба Лидии Ивановны – явный пример того, каких результатов может достичь целеустремленный человек, беззаветно любящий свою профессию. Родилась Л. И. Кедрова в деревне Косолапы Куменского района Кировской области в 1938 году в крестьянской семье. Она рано поняла, как это непросто работать на земле и, выбрав самую мирную профессию, решила всю жизнь посвятить тому, чтоб крестьянский труд был радостным и созидательным.

После окончания Кировского сельскохозяйственного института (1963 г.) Л. И. Кедрова начала свою трудовую деятельность на Фаленской селекционной станции в должности старшего научного сотрудника, заведующей группой и по совместительству заместителем директора по научной работе. С 1977 по 2016 год являлась заведующей отделом озимой ржи Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, с 2016 по 2021 год трудилась в должности главного научного сотрудника лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи в том же учреждении, получившем статус федерального аграрного научного центра.

Вся жизнь и научная деятельность Л. И. Кедровой отданы созданию новых сортов озимой ржи, разработке эффективных методов селекции, семеноводства и технологии их возделывания. Под ее руководством и при непосредственном участии созданы высокозимостойкие и урожайные сорта ржи: Дымка (1993 г.), Кировская 89 (1993 г.), Фаленская 4 (1999 г.), Снежана (2004 г.), Рушник (2008 г.), Флора (2012 г.) и Графиня (2016 г.), внесенные в Госреестр селекционных достижений с допуском к использованию в 34 областях и республиках Северного, Северо-Западного, Центрального, Волго-Вятского и Западно-Сибирского регионов страны. В 2007 г. на сорт Фаленская 4 получен

Диплом «Гран-При» за подписью Министра сельского хозяйства и продовольствия РФ А. В. Гордеева о присвоении наименования «Лучший сорт селекции зерновых культур 2007 года».

Проведенные Л. И. Кедровой исследования по усовершенствованию технологии выращивания озимой ржи легли в основу целого ряда рекомендаций по возделыванию этой культуры в Кировской области. Внедрение усовершенствованной технологии позволило ряду хозяйств получать стабильно высокие урожаи озимой ржи высокого качества.

В 2001 г. Л. И. Кедровой присуждена ученая степень доктора с.-х. наук. Она является автором более 280 научных работ, имеет 9 патентов РФ на селекционные достижения. Под ее руководством защищены 4 кандидатские и 1 докторская диссертации.

При ее активном участии разработана и успешно выполнялась Межотраслевая программа «Производство и переработка зерна озимой ржи», утвержденная Президиумом Россельхозакадемии на 2004-2011 гг. Многолетние исследования НИИСХ Северо-Востока по озимой ржи на XIV Российской агропромышленной выставке «Золотая осень 2012» отмечены Золотой медалью «За разработку комплекса технологий по расширению сферы использования зерна озимой ржи в хлебопекарной и комбикормовой промышленности».

За долгие годы добросовестный труд и заслуги в области селекционно-семеноводческой работы Л. И. Кедрова награждена Почетной грамотой Российской академии сельскохозяйственных наук, двумя серебряными медалями ВДНХ, медалями «Ветеран труда» и «За доблестный труд», Дипломом и Золотой медалью им. Н. В. Рудницкого за работы в области селекции и технологии возделывания озимой ржи в условиях северного земледелия (2000 г.), Дипломом Россельхозакадемии за лучшую завершенную научную разработку 2005 г. В 1998 г. присвоено звание «Заслуженный агроном Российской Федерации», в 2004 г. награждена знаком «30 лет преобразования Нечерноземья РФ», в 2008 г. – Дипломом лауреата Премии Кировской области в области сельского хозяйства за работу «Создание и внедрение сортов озимой ржи селекции НИИСХ Северо-Востока, переработка зерна на пищевые и кормовые цели».

Лидия Ивановна имела активную жизненную позицию и успешно совмещала titанический труд ученого с общественной работой, с 1985 по 1989 год избиралась Депутатом Кировского областного и городского Совета народных депутатов.

Лидия Ивановна ушла из жизни 15 апреля 2021 г., воспитав достойную смену и оставив после себя огромный багаж теоретических и практических разработок для дальнейшей селекционной работы. С ее уходом ушла целая эпоха. Трудно переоценить вклад этого ученого в отечественное сельское хозяйство.

Лидия Ивановна была добросовестным, отзывчивым, светлым, добрым и чутким человеком. Именно такой она останется в памяти и сердцах своих родных, коллег, друзей и учеников.

