

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 22
№ 2
2021

Vol. 22
No. 2
2021

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»
(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. Кормопроизводство. Земледелие, агрохимия, мелиорация. Сельскохозяйственная микробиология и микология. 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,
Веселова Наталья Васильевна – к.с.-х.н., ученый секретарь научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич	д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмалопроductов, 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., врио директора 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 Санкт-Петербургской государственной академии ветеринарной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия
Домский Игорь Александрович	д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института 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 Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия
Иванов Дмитрий Анатольевич	д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, 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 Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса
Костяев Александр Иванович	д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий, ФГБНУ «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия
Куликов Иван Михайлович	д.э.н., профессор, академик РАН, директор Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия
Леднев Андрей Викторович	д.с.-х.н., доцент, руководитель, главный научный сотрудник Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения Удмуртского ФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия
Никонова Галина Николаевна	д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Института аграрной экономики и развития сельских территорий, ФГБНУ «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия
Пашкина Юлия Викторовна	д.в.н., Почетный работник ВПО РФ, профессор кафедры эпизоотологии, паразитологии и ветсанэкспертизы Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия
Савченко Иван Васильевич	д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов Всероссийского научно-исследовательского института 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.cnsb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку
можно в любом
почтовом отделении
по каталогу «Пресса России»
подписной индекс 58391

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
15.04.2021 г.

Дата выхода в свет
30.04.2021.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 17,21

Тираж 100 экз. Заказ 7.

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

Баранов Александр
Васильевич

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
Сибяттулович

д.б.н., профессор, заслуженный ветеринарный врач РФ, Почетный работник
высшего профессионального образования РФ, Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия, г. Нижний Новгород, Россия

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

д.с.-х.н., профессор, заслуженный агрохимик РФ, зав. кафедрой агрохимии
и агроэкологии Нижегородской государственной сельскохозяйственной
академии, г. Нижний Новгород, Россия

д.в.н., доцент, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы Санкт-
Петербургской государственной академии ветеринарной медицины,
г. Санкт-Петербург, Россия

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, заместитель генерального
директора по научной работе Научно-практического центра НАН Беларуси
по земледелию, г. Минск, Республика Беларусь

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, г. Москва, Россия

д.б.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии
растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, профессор
Вятского государственного университета, г. Киров, Россия

д.с.-х.н., доцент, чл.-корр. РАН, зав. лабораторией 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 природоведческого
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, Технолог-природоведческий институт, г. Варшава,
Польша

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

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор кафедры промышленной безопасности и инженерных
систем Вятского государственного университета, г. Киров, Россия

д.б.н., профессор, г. Кострома, Россия

д.с.-х.н., директор Федерального научного центра 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 Всероссийского
научно-исследовательского института 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, проректор по экономике и инновациям Вятского государст-
венного агротехнологического университета, г. Киров, Россия

к.б.н., доцент кафедры микробиологии Пермской государственной
фармацевтической академии, г. Пермь, Россия

д.б.н., главный научный сотрудник отдела экологии животных Всероссий-
ского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

к.б.н., доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики
обучения химии, с.н.с. Центра компетенций «Экологические технологии
и системы» Вятского государственного университета, г. Киров, Россия

д.в.н., профессор кафедры экологии и зоологии Вятского государственного
агротехнологического университета, 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 Марийского государст-
венного университета, заслуженный работник сельского хозяйства
Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия

© The founder of the journal is Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky (FARC North-East) 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. Storage and Processing of Agricultural Production. Fodder Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Agricultural Microbiology and Mycology. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CURRENT EVENTS

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 FARC North-East, Kirov, Russia

Deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), associate professor, Head of the Science and Organization Department, FARC North-East, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, engineer of scientific and technical information, the Science and Organization Department, FARC North-East, Kirov, Russia,
Natalya V. Veselova, Cand. of Sci. (Agricultural), scientific secretary, the Science and Organization Department, FARC North-East, Kirov, Russia

Editorial council

- | | |
|--------------------------------|---|
| Nikolay R. Andreev | Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, academic advisor of the All-Russia scientific research institute of Starch Products, 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 FARC North-East, Kirov, Russia |
| Alexander M. Guryanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, director of Mordovia Agricultural Research Institute – Branch of FARC North-East, Saransk, Russia |
| Svetlana V. Degteva | Dr. of Sci. (Biology), the acting director of Institute of biology of Komi Scientific Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia |
| Eduard D. Dzhabadov | 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 Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia |
| Igor A. Domskiy | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director of Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia |
| Sergey P. Eremin | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |
| Dmitriy A. Ivanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 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, 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 Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia |
| Ivan M. Kulikov | Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, director of the All-Russia Selection and Technology Institute of Horticulture and Nursery, Moscow, Russia |
| Andrei V. Lednev | Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science 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, 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, Honorary worker of higher vocational education of the Russian Federation, 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 |
| Alexander G. Samodelkin | Dr. of Sci. (Biology), professor, Honored Veterinarian of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Vocational Education of the Russian Federation, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |

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

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

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

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

You can subscribe in any post office According to the catalog "Press of Russia" subscription index 58391

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
15.04.2021 r.

Date of publication
30.04.2021.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.

Cond. peps. l. 17.21

Circulation 100 copies. Order 7.

Free price.

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

Pavel N. Sisjagin	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, Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
Erroma 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, Minsk, Republic of Belarus
Yu. A. Tsoy	Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
Irina G. Shirokikh	Dr. of Sci. (Biology), leading researcher, head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, FARC North-East, professor at the Department of Microbiology, Vyatka State University, Kirov, Russia
Irina N. Shchennikova	Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley, FARC North-East, 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, academic adviser of the Institute of Mycology of Jilin Agricultural University, a foreign member of RAS, Changchun, China

Editorial Board

Aleksey V. Aleshkin	Dr. of Sci. (Engineering), professor at the Department of Industrial Security and Engineering systems, Vyatka State University, Kirov, Russia
Alexander V. Baranov	Dr. of Sci. (Biology), the professor, Kostroma, 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, FARC North-East, 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), head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, FARC North-East, Kirov, Russia
Lyudmila M. Kozlova	Dr. of Sci. (Agricultural), head of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Land Improvement, FARC North-East, Kirov, Russia
Olga V. Kostenko	Cand. of Sci. (Economics), associate professor, Pro-Rector for Economy, The 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 Ecology and Zoology, The Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Tatyana K. Sheshegova	Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, FARC North-East, Kirov, Russia
Gubeidulla S. Junusov	Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, the Honored Worker of Agriculture of Republic of Mary El, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

- О. П. Кибальник, И. Г. Ефремова, Ю. В. Бочкарева, А. В. Прахов, Д. С. Семин*
Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов
возделывания в регионах Российской Федерации (обзор)..... 155

- В. М. Кузнецов*
Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом
(аналитический обзор)..... 167

- Д. В. Митрофанов, Н. В. Будникова, А. З. Брандорф*
Применение трутнёвого расплода в рациональном питании и апитерпии..... 188

РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Т. А. Барковская, О. В. Гладышева, В. Г. Кокорева*
Оценка потребительских свойств зерна селекционных линий яровой мягкой пшеницы.... 204

- А. В. Харина, Т. К. Шешегова*
Поиск устойчивого к септориозу исходного материала яровой мягкой пшеницы
и анализ наследования признака..... 212

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

- Л. Н. Прокина, С. В. Пугаев*
Влияние средств химизации на продуктивность севооборотов с бобовыми и злаковыми
травмами в условиях неустойчивого увлажнения юга Нечерноземья России..... 223

- О. А. Чеглакова, Л. Н. Шихова*
Сезонная динамика содержания свинца в дерново-подзолистой почве при внесении
минеральных удобрений..... 234

- И. В. Лыскова, О. Э. Суховеева, Т. В. Лыскова*
Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур
в условиях Кировской области..... 244

- Ф. А. Попов, Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова*
Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании
ярового ячменя сорта Новичок..... 254

ЗООТЕХНИЯ

- Н. С. Суханова*
Возрастные изменения в гистоструктуре костей конечностей домашних кур..... 264

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

- Р. А. Мамедова*
Исследование режима течения жидкости при промывке молокопровода..... 278

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- В. А. Нохрина*
«Земледельческий журнал» и его роль в развитии сельского хозяйства России
в 1821-1840 гг. (к 200-летию журнала)..... 287

CONTENTS

REVIEWS

- Oksana P. Kibalnik, Irina G. Efremova, Yuliya V. Bochkareva, Alexandr V. Prakhov, Dmitriy S. Semin*
Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review)..... 155
- Vasiliy M. Kuznetsov*
Assessment of genetic differentiation of populations by analysis of molecular variance (analytical review)..... 167
- Dmitriy V. Mitrofanov, Natalya V. Budnikova, Anna Z. Brandorf*
Application of drone brood in rational nutrition and apitherapy..... 188

PLANT GROWING

- Tatiana A. Barkovskaya, Olga V. Gladysheva, Valeria G. Kokoreva*
Evaluation of consumer properties of grain of spring soft wheat selection lines..... 204
- Anastasiya V. Kharina, Tatyana K. Shcheshegova*
Search for the parent material of spring soft wheat resistant to septoria tritici blotch and analysis of the trait inheritance..... 212

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Lyudmila N. Prokina, Sergey V. Pugaev*
The effect of chemical agents on the productivity of crop rotations with legumes and cereals in the conditions of unstable moisture in the south of the Non-Black Soil Zone of Russia..... 223
- Oksana A. Cheglakova, Lyudmila N. Shikhova*
Seasonal dynamics of lead content in sod-podzolic soil in dependence of mineral fertilizer application..... 234
- Irina V. Lyskova, Olga E. Sukhoveeva, Tatiana V. Lyskova*
The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region... 244
- Fyodor A. Popov, Lyudmila M. Kozlova, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova*
Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety..... 254

ZOOTECHNY

- Natalya S. Sukhanova*
Age-related changes of the histological structure in the limb bones of the domestic fowl..... 264

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Ravza A. Mamedova*
Research of the fluid flow regime during the milk pipeline washing..... 278

PAGES OF HISTORY

- Valentina I. Nokhrina*
«Farming journal» and its role in the development of agriculture of Russia in 1821-1840 (to the 200-th anniversary of the journal)..... 287

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>
УДК 633.174:631.53.04



Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах Российской Федерации (обзор)

© 2021. О. П. Кибальник✉, И. Г. Ефремова, Ю. В. Бочкарева, А. В. Прахов, Д. С. Семин

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», г. Саратов, Российская Федерация

В обзоре рассмотрены уникальное разнообразие, универсальность использования сорговых культур. Проанализирована зависимость урожайности биомассы и зерна сортов и гибридов сорговых культур от применяемых элементов технологии возделывания: ширины междурядий, густоты стояния растений в разных зонах соргосеяния Российской Федерации. Разнообразные почвенно-климатические условия регионов возделывания сорго различаются температурным режимом, запасами почвенной влаги перед посевом, уровнем плодородия почв, что определяет необходимость подбора оптимальных элементов технологии, обеспечивающих достижение наибольшей урожайности сортов с единицы площади при наименьших материально-технологических затратах. Анализ способов размещения растений на посевной площади свидетельствует также о значительной роли сортовых биологических особенностей в повышении урожая сорго, назначении посева, уровня засоренности поля. При ограниченных ресурсах продуктивной влаги для высокопродуктивных сортов зернового и сахарного сорго с мощным габитусом эффективен широкорядный посев с междурядьями 70 см и густотой стояния растений в зависимости от сорта 80-350 тысяч на 1 га. Низкорослые раннеспелые тонкостебельные формы зернового сорго целесообразно сеять обычным рядовым способом с междурядьем 15 или 30 см с густотой стояния растений 500-600 тыс./га. Сорта суданской травы, выдерживающие высокую густоту стояния растений (в зависимости от агроклиматических условий – от 1,0 до 3,0 млн/га), возделываются по технологии зерновых колосовых культур. В результате проведенного анализа литературных данных выявлена тенденция: чем засушливее условия выращивания, тем значительней требования к выбору оптимальных параметров агротехнических приемов возделывания сорговых культур в направлении снижения числа растений на единице площади с учетом специфики региона соргосеяния.

Ключевые слова: сорт, гибрид, сорговые культуры, ширина междурядий, густота стояния растений, урожайность, зерно, биомасса

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства сельского хозяйства РФ и тематического плана ФГБНУ РосНИИСК «Россорго».

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Бочкарева Ю. В., Прахов А. В., Семин Д. С. Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах Российской Федерации (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):155-166. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>

Поступила: 15.02.2021

Принята к публикации: 01.04.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review)

© 2021. Oksana P. Kibalnik✉, Irina G. Efremova, Yuliya V. Bochkareva, Alexandr V. Prakhov, Dmitriy S. Semin

Russian Research and Technological Institute of Sorghum and Maize, Saratov, Russia

The review considers the unique diversity and versatility of the use of sorghum crops. The dependence of the yield of biomass and grain of varieties and hybrids of sorghum crops on the applied elements of the crop cultivation technology is analyzed: width of row spacing, density of standing plants in different zones of sorghum sowing in the Russian Federation. A variety of soil and climatic conditions of sorghum cultivation regions differ in the temperature regime, the reserves of soil moisture before sowing, the level of soil fertility, which determines the need to select the optimal elements of technology that ensure the achievement of the highest yield of varieties per unit area with the lowest material and technological costs. The analysis of the ways of placing plants on the own area also indicates the significant role of varietal biological features in increasing the sorghum yield, the purpose of sowing, and the level of field contamination. With limited resources of productive moisture for high-yielding sorghum varieties with a powerful habitus, wide-row sowing with row spacing of 70 cm and the

density of standing plants 80-350 thousand per 1 ha, depending on the variety. Low-growing early-maturing thin-stemmed forms of grain sorghum should be sown in the usual ordinary row way with a row spacing of 15 or 30 cm with plant density of 500-600 thousand/ha. Sudan grass varieties that can withstand high density of standing plants (depending on agroclimatic conditions – up to 1.0-3.0 million per 1 ha) are cultivated using the technology of spiked cereals. As the result of the literature data analysis, the following trend has been revealed: the drier the growing conditions, the greater the requirements for choosing the optimal parameters of agrotechnical methods of cultivating sorghum crops aimed at the reducing the number of plants per area unit considering the specific character of the region of sorghum sowing.

Keywords: variety, hybrid, sorghum crops, row spacing, plant standing density, yield, grain, biomass

Acknowledgment: the research was carried out within the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation and the thematic plan of the Federal State Budgetary Institution RosNIISK «Rossorgo».

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: Kibalnik O. P., Efremova I. G., Bochkareva Yu. V., Prakhov A. V., Semin D. S. Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):155-166. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>

Received: 15.02.2021

Accepted for publication: 01.04.2021

Published online: 19.04.2021

Регионы возделывания сорговых культур в России характеризуются разнообразными почвенно-климатическими условиями, поэтому растениеводство этих районов должно базироваться на эффективном использовании биоклиматического потенциала за счет правильного подбора и размещения адаптивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Эффективное возделывание полевых культур в экстремальных климатических условиях возможно при их достаточной экологической устойчивости, превышающей влияние стрессоров [1]. К таким культурам с полным правом относятся сорговые (зерновое, сахарное, веничное сорго, суданская трава и сорго-суданковые гибриды). Высокая пластичность и адаптивность культуры обеспечивают широкий ареал распространения – от тропических и полупустынных зон до умеренных широт и способны противостоять негативным климатическим условиям в период вегетации [2].

Сорго по срокам посева относится к поздним яровым культурам. Повышенная потребность в тепле сохраняется у него в течение всей вегетации. Для полного созревания сорго оптимальная сумма положительных температур за вегетационный период составляет 2500-3500 °С в зависимости от сорта и условий выращивания. Для сорго характерна высокая приспособляемость к недостатку влаги и экономному ее расходованию. Ксерофитность сорго обусловлена мощностью и избирательной способностью корневой системы, особенностями листовой поверхности, устьичного аппарата, плотного эпидермиса и наличием белого воскового налета [3]. Эти биологические особенности культуры позволяют формировать стабильные урожаи био-

массы и зерна в условиях недостатка влаги на относительно неплодородных почвах. Ценной биологической особенностью сорго является также ремонтантность, обеспечивающая сочность и сохранность зеленых листьев в листостебельной массе многих сортов на протяжении всего периода вегетации. По устойчивости урожаев по годам сорго стоит на первом месте среди культурных растений [4, 5].

По химическому составу биомассы сорго входит в число лучших однолетних кормовых культур. Кормовая масса (в том числе и при использовании на зерносеяж и монокорм) оптимально сбалансирована по сахаро-протеиновому соотношению, хорошо поедается всеми видами травоядных животных. В ней содержится 70-80 % воды, 3,5-5,0 % белка, 0,8-1,0 % жира, 10-18 % сахаров и сравнительно мало сырой клетчатки – 6-8 %. Очень важна способность травянистого сорго отрастать после скашивания, причем неоднократно. Отавность проявляется даже при поздних сроках уборки. Все это позволяет ставить сорго в ряд ценных компонентов зеленого конвейера [2, 3, 6].

В нашей стране сорго возделывается, в основном, на кормовые цели для производства зернофуража, силоса, монокорма, сена, сенажа, зеленого корма (как звено непрерывного многомесячного зеленого конвейера), кормовой патоки. В последние годы успешно развивается пищевое и техническое использование сортов сорго для производства муки, крупы, крахмала, глюкозо-фруктозного сиропа, биоэтанола и других возобновляемых источников энергии [6, 7, 8].

За последние два десятилетия посевные площади под сорго в России претерпели зна-

чительные колебания, вследствие определенных трудностей хозяйствования субъектов АПК в 2000-е годы [9]. В 2013-2016 гг. пло-

щади посева сорговых культур значительно возросли: с 152 тыс. га в 2013 г. до 229 тыс. га в 2016 г. (рис. 1).

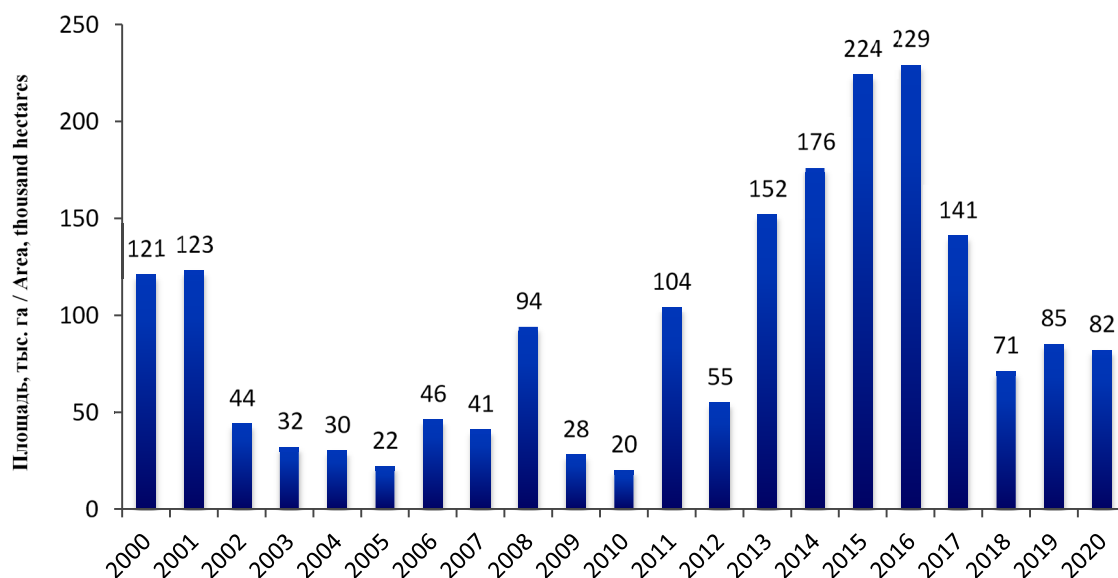


Рис. 1. Динамика посевных площадей сорго в РФ (2000-2020 гг.) /
Fig. 1. Dynamics of sorghum acreage in the Russian Federation (2000-2020)

Сорта сорговых культур занимают значительные площади в засушливых районах Нижневолжского региона, в том числе в Саратовской и Волгоградской областях. В Саратовской области посевные площади сорго в последние годы значительно варьировали и составили в 2014 году 52,01 тыс. га

(29,6% от всех площадей под сорго в России). В последующие два года посевные площади под сорговыми культурами существенно возросли как в целом по стране, так и в Саратовской области (до 91,32 тыс. га), что составило 39,9% от всех площадей посева (рис. 2).

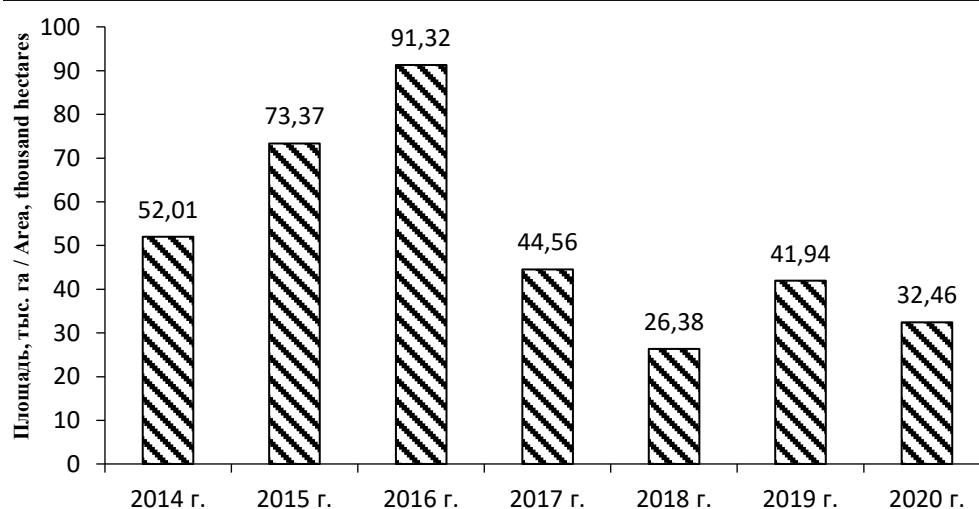


Рис. 2. Динамика посевных площадей сорго в Саратовской области (2014-2020 гг.) /
Fig. 2. Dynamics of sorghum acreage in the Saratov region (2014-2020)

Сорго – культура с большим потенциалом. Формирование потенциальной продуктивности сорта или гибрида в растениеводстве невозможно без применения сортовых агро-

приемов. Основными агротехническими мероприятиями являются выбор оптимальных способов посева, густоты стояния растений и нормы высева, внесение удобрений (мине-

ральных, органических, микроудобрений), использование ростостимулирующих и микробиологических препаратов, средств защиты растений от болезней и вредителей.

Вместе с тем при возделывании сорго не следует забывать о выборе предшественника, который должен обеспечить защиту посевов от сорной растительности. Согласно данным научных учреждений, наиболее эффективным звеном севооборота в зоне недостаточного увлажнения считается пар – озимая пшеница – зерновое сорго. Лучшими предшественниками являются те культуры, после которых почва остается менее засоренной и с большим остаточным запасом влаги: яровые зерновые, кукуруза, зернобобовые и ранубираемые культуры [10, 11].

Однако несмотря на большое преимущество по ряду признаков (биологических, физиологических, кормовых) перед другими сельскохозяйственными культурами сорговые не нашли должного внимания, посевные площади под ними до сих пор ограничены. Основными причинами сдерживания процесса внедрения являются недостаточный ассортимент адаптированных сортов и гибридов к конкретным условиям произрастания и сортовых технологий их возделывания с усовершенствованными элементами. Поэтому в данном обзоре освещены некоторые технологические аспекты проблем, связанные с распространением сорговых культур в нашей стране.

Большой интерес представляет изучение норм высева и способов посева в различных почвенно-климатических условиях регионов РФ. Исследователи приходят к заключению о необходимости применения системного подхода к разработке сортовых технологий, которые позволят обеспечить потенциальную продуктивность культуры на конкретной территории [12, 13, 14, 15].

Цель обзора – рассмотреть и провести анализ научных публикаций об усовершенствованных технологических приемах возделывания сорго в зависимости от агроклиматических условий основных зон соргосеяния России.

Материал и методы. В аналитическом обзоре представлены научные публикации российских авторов по изучаемому вопросу. Поиск литературных источников проведен по базам данных eLibrary.ru и Google scholar, на сайте Росстата («Посевные площади растениеводческих культур по виду в России по

регионам»). Для рассмотрения принимались публикации, изданные в период 2010-2020 гг. Также изучали несколько источников более раннего выпуска, в связи с отсутствием статей по интересующему вопросу данной темы.

Основная часть. К настоящему времени уже накоплены результаты исследований по разработке элементов сортовых технологий сорговых культур в различных агроклиматических регионах России, что позволяет провести комплексный анализ их продуктивности, на основании которого открывается возможность дальнейшего усовершенствования эффективных сортовых агротехнологий [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Исследователи пришли к заключению, что создание в богарных условиях продуктивных агроценозов с сорговыми культурами для реализации их наибольшего урожая и качества продукции должно базироваться на знании биологических особенностей, оптимизации водного, пищевого режимов и зависит от цели использования полученной продукции (семена, монокорм, зернофураж) [16]. К числу важнейших элементов технологии отнесены способы посева и нормы высева. Их правильный выбор позволяет формировать оптимальное число растений на единице площади с учетом морфометрических особенностей конкретного сорта, способствующих получению более высокой продуктивности.

Следует отметить, что в России сорговые культуры возделываются на территории от Центрально-Черноземного до Западно-Сибирского регионов и характеризуются различными усовершенствованными агроприемами, что предполагает детальную разработку элементов сортовых технологий.

Наиболее надёжным и стабильным источником кормов в *Северо-Кавказском регионе* России являются посевы сахарного сорго и суданской травы, а также зернового сорго на кормовые, продовольственные и технические цели [23, 24]. Возделывание сортов зернового сорго позволило выявить следующие особенности: при сравнении трех способов посева с междурядьями 70, 45 и 15 см и норм высева 200, 300 и 400 тыс. шт./га установлено, что при посеве с междурядьем 45 см оптимальная густота составила 300-400 тыс. раст./га. Кроме того, в отдельных случаях данная густота оказалась оптимальной для посева рядовым способом [15].

В восточных районах Ставропольского края и прилегающих к ним районах Ростовской области проведены исследования гибридов зернового сорго по оценке урожайности при широкорядном посеве с междурядьем 45 см в зависимости от нормы высева – 180; 200; 220 тыс. семян/га. Сделано заключение о перспективности нормы высева современных гибридов 200 тыс. семян/га, что подтверждается высокой энергетической эффективностью выращивания [25].

Повышение валового сбора зерна и противостояние сорнякам в условиях степной зоны Республики Крым установлено при уменьшении ширины междурядий до 45-60 см и достижении оптимальной густоты стояния растений 100 тыс. шт./га. Проведенный анализ качества зерна подтверждает необходимость разработки индивидуальных сортовых технологий в направлениях, заданных целью получения необходимых хозяйственных качеств и максимальной урожайности [26].

В лесостепной зоне и предгорьях РСО-Алания и условиях равнинного района Дагестана [21, 22, 23] выявлено, что для зернового сорго оптимальной оказалась густота 350 тыс. раст./га, для сахарного – 180 тыс. раст./га [27, 28, 29].

При подборе нормы высева сортов и гибридов сахарного сорго в условиях Ростовской области оптимальным количеством считается 180-200 тыс. всхожих семян на гектар при посеве с междурядьем 70 см [30].

При выращивании сортов суданской травы в условиях Дагестана было отмечено, что густота стояния растений (1,0-3,5 млн/га) и различные способы посева (сплошной рядовой, узкорядный и широкорядный) в значительной степени влияют на урожайность вегетативной массы. При широкорядном посеве увеличение густоты растений от 1,0 до 3,0 млн/га приводило к резкому повышению урожая по сравнению с узкорядным и сплошным способами [31]. В условиях Ростовской области при использовании суданской травы на зеленый корм оптимальным считается обычный рядовой посев с междурядьем 15 см и норма высева 1,2 млн семян на гектар [30].

В почвенно-климатических условиях *Средневолжского региона* сорговые культуры в последние годы занимают значительные посевные площади. Отмечен высокий производственный потенциал раннеспелых сортов зернового сорго при возделывании в Самарской области за счет своей неприхотливости и

кормовой ценности [4]. В лесостепной зоне Среднего Поволжья скороспелые низкорослые сорта в средние по влагообеспеченности годы и на чистых от сорняков полях формируют наиболее высокие урожаи зерна при сплошном посеве с междурядьями 15 см и нормой высева 800 тыс. всхожих семян на 1 гектар [32], а при широкорядном – 300 тыс. семян/га [33].

В условиях Татарстана при сплошном рядовом способе сева сахарного сорго с междурядьями 15 см сформировано 47,5 т/га биомассы при норме высева 500 тыс. шт./га всхожих семян, а при широкорядном с междурядьями 70 см – 50,7 т/га с густотой стояния 300 тыс. раст./га [21].

При разработке адаптивной технологии возделывания сахарного сорго в условиях Мордовии проведено изучение влияния способов посева с междурядьями 15, 45, 60 и 70 см, двустрочного посева с междурядьями 70 см и расстоянием между строчками 15 см. Норма высева варьировала в пределах 0,4-1,0 млн всхожих семян/га. Для достижения максимальной продуктивности биомассы рекомендовано высевать 0,6-0,8 млн всхожих семян/га с междурядьями 45 и 15 см [19].

В условиях Пензенской области при выращивании суданской травы на корм достаточно высокая продуктивность отмечена при сплошном посеве с густотой стояния 2,0 млн раст./га [34].

Для *Центрального и Центрально-Черноземного регионов* перспективно увеличение разнообразия генотипов, отличающихся адаптивностью, пластичностью, устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам внешней среды. В этой зоне наиболее востребованы для нужд кормопроизводства сорта сахарного сорго и суданской травы.

На юго-западе центральной России в агроклиматических условиях Брянской области изучены приемы возделывания сорго сахарного на серых лесных почвах. Исследование формирования урожая биомассы сортов в зависимости от норм высева позволило установить наибольшую продуктивность зеленой массы (более 72 т/га) с нормой высева 500 тыс. всхожих семян/га [8].

В условиях северо-западной части этого региона исследовано влияние ширины междурядий и норм высева. Установлена закономерность роста урожайности при увеличении нормы высева семян до 400-600 тыс. шт./га с шириной междурядий 45 см и до 400-500 тыс. шт./га

с шириной междурядий 70 см. Увеличение загущения растений до 700 тыс. шт./га при ширине междурядий 45 см и до 600-700 тыс. шт./га (ширина междурядий 70 см) привело к ухудшению условий питания и фотосинтеза и, как следствие, к снижению продуктивности [18].

Для повышения продуктивности семян и биомассы суданской травы в условиях Брянской области следует применять рядовой способ посева с нормой высева от 2,5 до 3,5 млн всхожих семян/га [35, 36].

В *Уральском регионе* на полях Оренбургской области сортами зернового и кормового сорго заняты посевные площади, составляющие около 20 % от всех посевов под сорго в России. На южных чернозёмах в условиях богарного земледелия Южного Урала исследовали продуктивность зернового и сахарного сорго в зависимости от способов посева. Применяли разбросной посев агрегатами АУП 18-0,5, обычный рядовой посев сеялкой СЗ-3,6 с междурядьем 15 см и широкорядный посев с междурядьем 60 см [14]. Урожайность при широкорядном посеве зернового сорго составила 16,7 ц/га зерна, зелёной массы – 134,5 ц/га, сахарного сорго – 13,8 и 141,3 ц/га соответственно.

В условиях сухостепного оренбургского Предуралья исследована урожайность зернового и сахарного сорго с различными нормами высева (150-240 тыс. семян на 1 гектар). Наибольшая урожайность семян сахарного сорго (1,38 т/га) сформирована при норме высева 210 тыс. семян/га, а зернового сорго (2,52 т/га) – 240 тыс. семян/га. При этом уровень рентабельности составил 109,2 и 238,3 % соответственно. Сделано заключение, что нормы высева оказывают существенное влияние на полноту всходов и приживаемость растений, засоренность посевов, на рост, развитие, структуру и величину урожайности сортов зернового и сахарного сорго [20].

В условиях Оренбургской области проводили исследования по выращиванию суданской травы сплошным способом с густой стояния от 1,0 до 3,0 млн растений на гектар. Установлено, что оптимальная норма высева зависит от многих факторов (тип почв, температурные условия в начальной стадии развития растений от посева до кущения, количество осадков и т. д.). Так, для зоны черноземов южных со среднегодовым количеством осадков 280-320 мм оптимальной нормой высева является 2 млн всхожих семян на 1 гектар [37].

Западно-Сибирский регион. В лесостепной зоне Западной Сибири оптимальная норма высева сорго зернового на зелёный корм и силос составила 300-500 тыс. семян/га. Максимальная урожайность биомассы зернового сорго (15,4 т/га) сформирована в вариантах с нормой высева 500 тыс. всхожих семян на гектар [22].

В условиях южных районов Амурской области на лугово-черноземовидной почве исследованы варианты посева сортов сахарного сорго с шириной междурядий 15, 30, 45, 60, 70 и 90 см. Наибольшая урожайность биомассы (43,6 т/га) сформирована при широкорядном способе посева с междурядьями 45 см. Увеличение ширины междурядий привело к снижению урожайности надземной массы [38].

При возделывании суданской травы в Алтайском крае была выявлена сортовая дифференциация при выращивании на фуражные и семеноводческие цели. При этом наибольший урожай биомассы формировался при сплошном посеве с нормой высева 2,0 млн семян/га [39].

Нижеволжский регион. В этом регионе в НИИСХ Юго-Востока у сахарного сорго сорта Крепыш изучена семенная продуктивность при трех способах сева: сплошной, черезрядный и широкорядный с различными нормами высева [13]. Сплошной рядовой и черезрядный: 0,75-1,75 млн шт. всхожих семян/га; широкорядный – 0,1-0,3 млн шт. всхожих семян на 1 га. Наибольшая урожайность семян (до 29,3 ц/га) достигнута при сплошном рядовом посеве с нормой высева 1,50 млн семян/га. Вариант широкорядного посева показал наивысшую урожайность (до 24,1 ц/га) при норме высева 0,3 млн семян/га, а черезрядный посев сформировал урожайность семян (до 23,9 ц/га) при густоте стояния растений 1,50 млн шт./га.

К настоящему времени в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» выведены и допущены к использованию на территории РФ 56 сортов сорговых культур с комплексом хозяйственно ценных признаков и свойств, что вызвало необходимость разработки элементов сортовой агротехники их возделывания, в том числе отвечающих требованиям ресурсосберегающей технологии в условиях региона.

Многолетние исследования особенностей технологий возделывания сортов сорговых культур, выполненные в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», нашли отражение в общепринятых Рекомендациях для засушливых районов Юго-Востока Европейской части

России [40, 41]. В отношении способов посева и густоты стояния растений определено, что ширококрядный посев с междурядьем 70 см приемлем для возделывания на зерно или силос мощных, хорошо кустящихся сортов и гибридов. В засушливых условиях, при ограниченных ресурсах влаги, этот способ посева оказался эффективен для сортов и гибридов Волжское 4, Пищевое 35, Волжское 615, Волгарь, Иргиз и других с густотой стояния растений не более 80-120 тыс. шт./га.

Селекционерами также созданы специализированные сорта Перспективный 1, Старт, Кремовое, пригодные для возделывания по технологии зерновых колосовых культур и выдерживающие загущение растений – до 550-600 тыс. шт./га.

Способ посева с междурядьем 45 см имеет ряд преимуществ: более высокая конкурентоспособность культурных растений к сорнякам, отсутствие необходимости проведения междурядных обработок. Данный способ посева эффективен при выращивании сортов Перспективный 1, Пищевое 614, Зенит, Волжское 44, Старт [15, 42, 43]. Наибольший урожай зерна (4,6 т/га) получен при ширококрядном посеве с междурядьем 45 см и густотой стояния растений 250-300 тыс. шт./га. Посев с междурядьем 70 см и густотой 200 тыс. раст./га оказался равным по урожаю кондиционных семян и обеспечил их оптимальный выход (78 % против 75 %).

Сорта сахарного сорго рекомендовано высевать на силос ширококрядно с густотой стояния 100-120 тыс. раст./га в Левобережье Саратовской области и 120-150 тыс. раст./га в Правобережье. При возделывании на сенаж и зелёный корм густота стояния растений должна составлять 120-130 и 150-200 тыс. шт./га соответственно [41].

Оптимальная густота стояния суданской травы при посеве ширококрядным способом в Левобережных районах рекомендована

в пределах 400-500 тыс. шт./га, а в Правобережье – 500-600 тыс. шт./га; при сплошном – до 1,0 млн шт./га.

Заключение. Результаты исследований, проведенных в разнообразных регионах возделывания сортов сорговых культур, по использованию различной густоты стояния растений и ширины междурядий позволили выявить общие тенденции и закономерности:

- для получения высокого урожая биомассы и зерна (семян) сортов сорго при посеве важен правильный выбор ширины междурядий и густоты стояния растений. Они определяются назначением посева, сортовыми особенностями, влагообеспеченностью и уровнем засоренности поля;

- при ограниченных ресурсах продуктивной влаги эффективен ширококрядный посев с междурядьем 70 см. Высокопродуктивные сорта зернового и сахарного сорго с мощным габитусом куста высеваются с междурядьем 70 см с густотой стояния растений в зависимости от сорта 80-350 тысяч на 1 га;

- тонкостебельные сорта зернового сорго высеваются с междурядьями 15 или 30 см с густотой стояния растений 500-600 тыс./га;

- сорта суданской травы, выдерживающие высокую густоту стояния растений (в зависимости от почвенно-климатических условий – 1,0-3,0 млн шт./га), возделываются по технологии зерновых колосовых культур.

Разработка и применение наиболее эффективных технологических приёмов возделывания культуры сорго в большой степени зависят от конкретных почвенно-климатических условий региона и сортовых особенностей, позволяющих формировать наивысшую продуктивность биомассы и зерна. Усовершенствование сортовых агротехнических приёмов способствует внедрению новых сортов и гибридов в производство и расширению посевных площадей под сорговыми культурами в хозяйствах АПК России.

Список литературы

1. Жученко А. А. Роль мобилизации генетических ресурсов цветковых растений, их идентификации и систематизации в формировании адаптивно-интегрированной системы защиты агроценозов, агроэкосистем и агроландшафтов. Саратов: ООО «Ракурс», 2012. 528 с.
2. Румянцев А. В., Глуховцев В. В. Культура сорго в решении проблемы засухи и экономической стабильности сельского хозяйства в условиях Поволжского региона и Урала. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014;(2):46-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21646753>
3. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2003. 368 с.
4. Антимонов А. К., Сыркина Л. Ф., Антимонова О. Н. Производственный потенциал зернового сорго в северной зоне соргосеяния. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;4(44): 65-70. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-65-70>

5. Ворников Д. В., Баздырев Г. И., Павликов А. А. Формирование агрофитоценозов полевых культур в степной зоне Среднего Поволжья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010;(6):7-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15520343>
6. Царев А. П., Морозов Е. В. Агробиологические основы выращивания и использования сорговых культур в Поволжье. Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2011. 244 с.
7. Семин Д. С., Кибальник О. П., Каменева О. Б., Старчак В. И., Куколева С. С. Селекция зернового сорго на пищевые цели в условиях Нижневолжского региона. Таврический вестник аграрной науки. 2017;(1(9)):80-86. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=299686609>
8. Бельченко С. А., Дронов А. В., Васькина Т. И. Особенности биологии, опыт возделывания и перспективы переработки сорго сахарного на юго-западе центральной России. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(2(46)):24-32. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-2-24-32>
9. Росстат. [Электронный ресурс]. URL: <http://rosstat.gov.ru> (дата обращения 21.12.2020).
10. Плаксина В. С., Ерохина А. В. Эффективность выращивания зернового сорго в севооборотах с различной ротацией. Вестник Вятской ГСХА. 2019;(2):3. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41412851>
11. Плаксина В. С., Асташов А. Н., Бочкарева Ю. В., Пронудин К. А., Сучкова М. Г., Ефремова И. Г. Эффективность включения кукурузы и зернового сорго в севообороты с короткой ротацией в засушливых условиях Нижнего Поволжья. Успехи современного естествознания. 2020;(12):36-41. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37534>
12. Васин В. Г., Рухлевич Н. В. Продуктивность зернового сорго в зависимости от нормы высева семян. Достижения науки агропромышленному комплексу: сб. науч. тр. Кинель: Самарская ГСХА, 2014. С. 7-11.
13. Гусев В. В., Ларина В. В., Храмов А. В., Никитин Т. Ю. Семеноводство сахарного сорго – особенности технологии возделывания. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2009;(3(16)):84-88. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13013642>
14. Титков В. И., Безуглов В. В., Галаутдинов Р. Х. Продуктивность сахарного и зернового сорго в условиях богарного земледелия в зоне Южного Урала. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011;(3):48-49. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16901608>
15. Абасов Ш. М., Абасов М. Ш., Магамедгазиева З. Б., Пашаева М. Ш. Изучить основные параметры технологий выращивания новых сортов и гибридов зернового сорго. Горное сельское хозяйство. 2017;(1):76-80. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29025457>
16. Икоева В. А., Шорин П. М. Влияние сроков сева, глубины заделки семян, густоты стояния растений и минеральных удобрений на продуктивность сахарного сорго в лесостепной зоне РСО-Алания. Известия Горского государственного аграрного университета. 2012; 49(4):47-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18272100>
17. Шестак Н. М., Копылов В. Л., Шлапунов В. Н. Зависимость урожайности сорго сахарного от норм высева, способов и сроков сева. Земледелие и селекция в Беларуси. 2016;(52):178-184. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27714643>
18. Пигорев И. Я., Семькин В. А. Продуктивность сахарного сорго в условиях Курской области. Успехи современного естествознания. 2010;(9):193-195. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13621755>
19. Артемьев А. А., Таракин И. П. Адаптивная технология возделывания сорта сахарного сорго (*Sorghum Moench.*) в Республике Мордовия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(5(54)):36-41. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26605310>
20. Титков В. И., Резепкина А. А., Каравайцев Я. А. Урожайность сортов проса, сахарного и зернового сорго в зависимости от норм высева на чернозёмах южных оренбургского Предуралья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013;5(43):57-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20518214>
21. Нафиков М. М., Нигматзянов А. Р., Сайфутдинов Р. Ф., Мингазов Р. А. Формирование урожая сорго при использовании разных способов и норм высева, внесения удобрений на выщелочном чернозёме. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(1):41-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39241129>
22. Кашеваров Н. И., Полищук А. А., Кашеварова Н. Н., Лебедев А. Н. Сроки посева и нормы высева сорго зернового в условиях лесостепи Западной Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2013;(8):41-42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20236866>
23. Алабушев А. В., Ковтунова Н. А., Шишова Е. А. Основные направления селекционной работы по сахарному сорго. Кормопроизводство. 2015;(11):33-36.
24. Володин А. Б. Новые сорта и гибриды сахарного сорго для возделывания на силос и зелёный корм. Кормопроизводство. 2015;(4):16-20.
25. Авдеев А. П. Продуктивность гибридов зернового сорго в зависимости от нормы высева в условиях Ростовской области. Успехи современного естествознания. 2018;(8):29-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35590355>
26. Пергаев О. А. Урожайность и качество зерна сорго в зависимости от способов посева и густоты стояния растений в условиях степной зоны Крыма. Аграрный вестник Урала. 2012;(11-2(106)):4-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20258030>
27. Зангиева Ф. Т., Шорин П. М. Особенности технологии возделывания зернового сорго в предгорьях РСО-Алания. Известия Горского государственного аграрного университета. 2012;49(3):40-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17994892>
28. Шорин П. М., Абаев А. А., Зангиева Ф. Г., Икоева В. А. Продуктивность сорго в зависимости от густоты стояния растений и глубины заделки семян в лесостепной зоне РСО-Алания. Известия Горского государственного аграрного университета. 2012;49(1-2):71-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17773930>

29. Муслимов М. Г., Акаев А. А. Совершенствование элементов технологии возделывания сорго в условиях равнинной зоны Дагестана. Пути повышения эффективности аграрной науки в условиях импортозамещения: сб. науч. тр. Междунаро. науч.-практ. конф. Махачкала: ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джембулатова», 2017. С. 105-109.
30. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Горпиниченко С. И., Ермолина Г. М., Метлина Г. В., Романюкин А. Е., Васильченко С. А., Шишова Е. А., Лушина О. А., Сухенко Н. Н., Алабушев А. В. Рекомендации по возделыванию сорго зернового, сахарного и суданской травы. Саратов: ООО «Амирит», 2018. 28 с.
31. Муслимов М. Г., Салаватов А. С. Некоторые элементы технологии возделывания суданской травы в равнинной зоне Дагестана. Проблемы развития АПК региона. 2013;16(4):21-23.
32. Васин В. Г., Рухлевич Н. В., Казутина Н. А. Влияние нормы высева на фотосинтетическую деятельность и продуктивность зернового сорго в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017;(1(37)):6-11. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2017-1-6-11>
33. Нафиков М. М., Нигматзянов А. Р., Сайфутдинов Р. Ф., Мингазов Р. А. Особенности технологии возделывания сахарного сорго на выщелочном черноземе лесостепи Поволжья. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018;20(2-2):330-338. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36289176>
34. Варламов В. А., Жулин А. А. Формирование смешанных агрофитоценозов с участием кормовых бобов в лесостепи Среднего Поволжья. Нива Поволжья. 2010;(3):14-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15181770>
35. Дьяченко В. В., Дронов А. В., Верхотамочкин С. В., Симонов В. Ю., Зайцева О. А. Способы получения семян суданской травы в условиях Брянской области. Агроконсультант. 2016;(5):26-29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30763126>
36. Симонов В. Ю., Дьяченко В. В., Нечаев М. М., Сазонова И. Д., Смольский Е. В. Эффективность гербицидов в технологии возделывания травянистого сорго в условиях Брянского ополья. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(1):54-59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44803148>
37. Сидоров Ю. Н., Докина Н. Н. Элементы технологии возделывания суданской травы как пастбищной и сырьевой культуры. Вестник мясного скотоводства. 2012;(4(78)):108-112. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=1832393>
38. Ахалбадашвили Д. В., Епифанцев В. В. Особенности сортовой технологии выращивания сорго сахарного (*SORGHUM SACCHARATUM* L.) в условиях Приамурья. Дальневосточный аграрный вестник. 2018;(1(45)):5-11. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-11001>
39. Шукис С. К., Шукис Е. Р. Влияние норм высева и качество семян сорговых культур. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009;(11(61)):5-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12888642>
40. Ишин А. Г., Костина Г. И., Ефремова И. Г., Семин Д. С., Буенков А. Ю., Гвинджилия С. Т. Особенности технологии возделывания сорговых культур в засушливых районах Юго-Востока Европейской части России: рекомендации. Саратов: ФГНУ РосНИИСК «Россорго», 2008. 24 с.
41. Горбунов В. С., Костина Г. И., Ишин А. Г., Колов О. В., Жужукин В. И., Семин Д. С., Ефремова И. Г., Лящева С. В., Кибальник О. П., Смирнова Л. А., Ревякин Е. Л. Ресурсосберегающая технология производства зернового сорго. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2012. 40 с.
42. Царев А. П. Влияние способов и густоты посевов на продуктивность зернового сорго Пищевое 614 в условиях Саратовской области. Кукуруза и сорго. 2000;(6):19.
43. Семин Д. С., Горбунов В. С., Кибальник О. П. Технология возделывания новых сортов зернового сорго. Кукуруза и сорго. 2016;(3):23-27.

References

1. Zhuchenko A. A. *Rol' mobilizatsii geneticheskikh resursov tsvetkovykh rasteniy, ikh identifikatsii i sistematizatsii v formirovanii adaptivno-integrirovannoy sistemy zashchity agrotsenozov, agroekosistem i agrolandschaftov*. [The role of mobilization genetic resources of flowering plants, their identification and systematization in the formation of an adaptive-integrated system of protection agrocenoses, agroecosystems and agrolandscapes]. Saratov: ООО «Rakurs», 2012. 528 p.
2. Rumyantsev A. V., Glukhovtsev V. V. *Kul'tura sorgo v reshenii problemy zasukhi i ekonomicheskoy stabil'nosti sel'skogo khozyaystva v usloviyakh Povolzhskogo regiona i Urala*. [The role of sorghum crop in solving the problem of drought and economic stability of agriculture under the conditions of Povolzhsky and the Urals regions]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2014;(2):46-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21646753>
3. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gurskiy N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. *Sorgo (selektsiya, semenovodstvo, tekhnologiya, ekonomika)*. [Sorghum (breeding, seed production, technology, economy)]. Rostov-na-Donu: ZAO «Kniga», 2003. 368 p.
4. Antimonov A. K., Syrkina L. F., Antimonova O. N. *Proizvodstvennyy potentsial zernovogo sorgo v severnoy zone sorgoseyaniya*. [Production potential of grain sorghum in the northern zone of sorghum planting]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2018;(4(44)): 65-70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-65-70>
5. Vornikov D. V., Bazdyrev G. I., Pavlikov A. A. *Formirovanie agrofitotsenozov polevykh kul'tur v stepnoy zone Srednego Povolzh'ya*. [Formation of agrophytocenoses of field crops in the steppe zone of the Middle Volga region]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2010;(6):7-10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15520343>

6. Tsarev A. P., Morozov E. V. *Agrobiologicheskie osnovy vyrashchivaniya i ispol'zovaniya sorgovykh kul'tur v Povolzh'e*. [Agrobiological bases of cultivation and use of sorghum crops in the Volga region]. Saratov: FGOU VPO Saratovskiy GAU, 2011. 244 p.
7. Semin D. S., Kibal'nik O. P., Kameneva O. B., Starchak V. I., Kukoleva S. S. *Selektsiya zernovogo sorgo na pishchevye tseli v usloviyakh Nizhnevolzhskogo regiona*. [Breeding and seed production of grain sorghum under the conditions of lower Volga region of the Russian Federation]. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2017;(1(9)):80-86. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29968609>
8. Belchenko S. A., Dronov A. V., Vaskina T. I. *Osobennosti biologii, opyt vozdel'yvaniya i perspektivy pererabotki sorgo sakharnogo na yugo-zapade tsentral'noy Rossii*. [Biology features, cultivation experience and prospects of processing of sweet sorghum in the south-west of central Russia]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2019;(2(46)):24-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-2-24-32>
9. Rosstat. [Rosstat]. Available at: <http://rosstat.gov.ru> (accessed 21.12.2020).
10. Plaksina V. S., Erokhina A. V. *Effektivnost' vyrashchivaniya zernovogo sorgo v sevooborotakh s razlichnoy rotatsiyey*. [The efficiency of growing grain sorghum in crop rotations with different rotation]. *Vestnik Vyatskoy GSKhA*. 2019;(2):3. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41412851>
11. Plaksina V. S., Astashov A. N., Bochkareva Yu. V., Pronudin K. A., Suchkova M. G., Efremova I. G. *Effektivnost' vkl'yucheniya kukuruzy i zernovogo sorgo v sevooboroty s korotkoy rotatsiyey v zasushlivykh usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya*. [Efficiency of including maize and grain sorghum in crop rotations with short rotation in arid conditions of the lower Volga region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020;(12):36-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37534>
12. Vasin V. G., Rukhlevich N. V. *Produktivnost' zernovogo sorgo v zavisimosti ot normy vyseva semyan*. [Productivity of grain sorghum depending on the seeding rate]. *Dostizheniya nauki agropromyshlennomu kompleksu: sb. nauch. tr.* [Achievements of science in the agro-industrial complex: collected scientific activity]. Kinel: Samarskaya GSKhA, 2014. pp. 7-11.
13. Gusev V. V., Larina V. V., Khranov A. V., Nikitin T. Yu. *Semenovodstvo sakharnogo sorgo – osobennosti tekhnologii vozdel'yvaniya*. [Seed-growing sugar sorgho – featurestechnologies of cultivation]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture. 2009;(3(16)):84-88. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13013642>
14. Titkov V. I., Bezuglov V. V., Galyautdinov R. Kh. *Produktivnost' sakharnogo i zernovogo sorgo v usloviyakh bogarnogo zemledeliya v zone Yuzhnogo Urala*. [Productivity of sweet and grain sorgho under the conditions of bogharic farming in the south Urals zone]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2011;(3):48-49. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16901608>
15. Abasov Sh. M., Abasov M. Sh., Magamedgaziya Z. B., Pashaeva M. Sh. *Izuchit' osnovnye parametry tekhnologii vyrashchivaniya novykh sortov i gibridov zernovogo sorgo*. [To study key parameters of technologies of cultivation of novykh of grades and hybrids of the grain sorghum]. *Gornoe sel'skoe khozyaystvo*. 2017;(1):76-80. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29025457>
16. Ikoeva V. A., Shorin P. M. *Vliyaniye srokov seva, glubiny zadelki semyan, gustoty stoyaniya rasteniy i mineral'nykh udobreniy na produktivnost' sakharnogo sorgo v lesostepnoy zone RSO-Alaniya*. [Effect of sowing time, depth of seeding, thickness of plant stand and mineral fertilizers on sweet sorghum production in forest-steppe zone of North Ossetia-Alania]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2012;49(4):47-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18272100>
17. Shestak N. M., Kopylovich V. L., Shlapunov V. N. *Zavisimost' urozhaynosti sorgo sakharnogo ot norm vyseva, sposobov i srokov seva*. [Dependence of sweet sorghum yield on sowing methods and terms]. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi*. 2016;(52):178-184. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27714643>
18. Pigorev I. Ya., Semykin V. A. *Produktivnost' sakharnogo sorgo v usloviyakh Kurskoy oblasti*. [Productivity of sugar sorghum in the conditions of the Kursk region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2010;(9):193-195. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13621755>
19. Artemyev A. A., Tarakin I. P. *Adaptivnaya tekhnologiya vozdel'yvaniya sorta sakharnogo sorgo (Sorghum Moench.) v Respublike Mordoviya*. [Adaptive technology of sweet sorghum (*Sorghum Moench.*) cultivation in the republic of Mordovia]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2016;(5(54)):36-41. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26605310>
20. Titkov V. I., Rezepkina A. A., Karavaytsev Ya. A. *Urozhaynost' sortov prosa, sakharnogo i zernovogo sorgo v zavisimosti ot norm vyseva na chernozemakh yuzhnykh orenburgskogo Predural'ya*. [Yielding capacity of millet varieties, sweet and grain sorghum as dependent on seeding rates on south chernozem soils of orenburg Preduralye]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2013;5(43):57-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20518214>
21. Nafikov M. M., Nigmatzyanov A. R., Sayfutdinov R. F., Mingazov R. A. *Formirovaniye urozhaya sorgo pri ispol'zovanii raznykh sposobov i norm vyseva, vneseniya udobreniy na vyshchelochnom chernozeme*. [Formation of harvest of sargo in different methods, seeding norms and fertilizers on leached black soils]. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik Chuvash State Agricultural Academy. 2019;(1):41-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39241129>

22. Kashevarov N. I., Polishchuk A. A., Kashevarova N. N., Lebedev A. N. *Sroki poseva i normy vyseva sorgo zernovogo v usloviyakh lesostepi Zapadnoy Sibiri*. [Sowing dates and seeding rates of grain sorghum in the conditions of the forest-steppe of western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2013;(8):41-42. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20236866>
23. Alabushev A. V., Kovtunova N. A., Shishova E. A. *Osnovnye napravleniya selektsionnoy raboty po sakharному sorго*. [General trends in sweet sorghum breeding]. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2015;(11):33-36. (In Russ.).
24. Volodin A. B. *Novye sorta i gibrity sakharного sorго dlya vozdeleyvaniya na silos i zelenyy korm*. [New cultivars and hybrids of sugar sorghum for green fodder and silage]. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2015;(4):16-20. (In Russ.).
25. Avdeenko A. P. *Produktivnost' gibrity zernovogo sorго v zavisimosti ot normy vyseva v usloviyakh Rostovskoy oblasti*. [Productiveness of grain sorghum hybrids in dependence on sowing norm in conditions of Rostov region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018;(8):29-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35590355>
26. Pergaev O. A. *Urozhaynost' i kachestvo zerna sorго v zavisimosti ot sposobov poseva i gustoty stoyaniya rasteniy v usloviyakh stepnoy zony Kryma*. [Crop capacity and quality of grain of sorghum depending on the methods of sowing and plant population in the conditions of steppe zone of Crimea]. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2012;(11-2(106)):4-6. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20258030>
27. Zangieva F. T., Shorin P. M. *Osobennosti tekhnologii vozdeleyvaniya zernovogo sorго v predgor'yakh RSO-Alaniya*. [Peculiarities technology of grain sorghum cultivation in foothills of North Ossetia-Alania]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2012;49(3):40-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17994892>
28. Shorin P. M., Abaev A. A., Zangieva F. G., Ikoeva V. A. *Produktivnost' sorго v zavisimosti ot gustoty stoyaniya rasteniy i glubiny zadelki semyan v lesostepnoy zone RSO-Alaniya*. [Sorghum productivity depending on plant density and depth of seeds sowing in forest-steppe zone of North Ossetia-Alania]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of Gorsk State Agrarian University*. 2012;49(1-2):71-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17773930>
29. Muslimov M. G., Akaev A. A. *Sovershenstvovanie elementov tekhnologii vozdeleyvaniya sorго v usloviyakh ravninnoy zony Dagestana*. [Improvement of the elements of sorghum cultivation technology in the conditions of the flat zone of Dagestan]. *Puti povysheniya effektivnosti agrarnoy nauki v usloviyakh importozameshcheniya: sb. nauch. tr. Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf.* [Ways to improve the efficiency of agricultural science in the context of import substitution: collected materials of the International conf.]. Makhachkala: FGBOU VO «Dagestanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni M. M. Dzhambulatova», 2017. pp. 105-109.
30. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Gorpichenko S. I., Ermolina G. M., Metlina G. V., Romanyukin A. E., Vasilchenko S. A., Shishova E. A., Lushpina O. A., Sukhenko N. N., Alabushev A. V. *Rekomendatsii po vozdeleyvaniyu sorго zernovogo, sakharного i sudanskoy travy*. [Recommendations for the cultivation of grain sorghum, sugar sorghum and Sudan grass]. Saratov: OOO «Amirit», 2018. 28 p.
31. Muslimov M. G., Salavatov A. S. *Nekotorye elementy tekhnologii vozdeleyvaniya sudanskoy travy v ravninnoy zone Dagestana*. [Some elements of the technology of cultivation of Sudan grass in the flat zone of Dagestan]. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2013;16(4):21-23. (In Russ.).
32. Vasin V. G., Rukhlevich N. V., Kazutina N. A. *Vliyanie normy vyseva na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' i produktivnost' zernovogo sorго v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya*. [The influence of seeding amount on photosynthetic activity and productivity of grain sorghum in the conditions of forest-steppe of middle Volga region]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2017;(1(37)):6-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2017-1-6-11>
33. Nafikov M. M., Nigmatzyanov A. R., Sayfutdinov R. F., Mingazov R. A. *Osobennosti tekhnologii vozdeleyvaniya sakharного sorго na vyshchelochnom chernozeme lesostepi Povolzh'ya*. [Features of technology of cultivation of sugar sorghum on leached chernozem of forest-steppe of the Volga region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(2-2):330-338. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36289176>
34. Varlamov V. A., Zhulin A. A. *Formirovanie smeshannykh agrofytotsenozov s uchastiem kormovykh bobov v lesostepi Srednego Povolzh'ya*. [Formation of the mixed herbage with participation of fodder beans in forest-steppe of middle Volga region]. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*. 2010;(3):14-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15181770>
35. D'yachenko V. V., Dronov A. V., Verkholamochkin S. V., Simonov V. Yu., Zaytseva O. A. *Sposoby polucheniya semyan sudanskoy travy v usloviyakh Bryanskoy oblasti*. [Methods of obtaining seeds of Sudan grass in the conditions of the Bryansk region]. *Agrokonsul'tant*. 2016;(5):26-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30763126>
36. Simonov V. Yu., D'yachenko V. V., Nechaev M. M., Sazonova I. D., Smol'skiy E. V. *Effektivnost' gerbitsidov v tekhnologii vozdeleyvaniya travyanistogo sorго v usloviyakh Bryanskogo opol'ya*. [Efficiency of herbicides in the technology of cultivation of herbal sorghum in the conditions of the Bryansk opol']. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2021;(1):54-59. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44803148>
37. Sidorov Yu. N., Dokina N. N. *Elementy tekhnologii vozdeleyvaniya sudanskoy travy kak pastbishchnoy i syr'evoy kul'tury*. [Elements of the technology of cultivation of Sudan grass as a pasture and raw material crop]. *Vestnik myasnogo skotovodstva = The Herald of Beef Cattle Breeding*. 2012;(4(78)):108-112. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=1832393>

38. Akhalbedashvili D. V., Epifantsev V. V. *Osobennosti sortovoy tekhnologii vyrashchivaniya sorgo sakharного (SORGHUM SACCHA-RATUM L.) v usloviyakh Priamur'ya*. [Specifics of varietal technology of cultivation of sweet sorghum (*Sorghum saccharatum* L.) in the climate of Priamurye]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2018;(1(45)):5-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-11001>

39. Shchukis S. K., Shchukis E. R. *Vliyaniye norm vyseva i kachestvo semyan sorgovykh kul'tur*. [Influence of seeding rates and quality of sorghum seeds]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2009;(11(61)):5-10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12888642>

40. Ishin A. G., Kostina G. I., Efremova I. G., Semin D. S., Buenkov A. Yu., Gvindzhiliya S. T. *Osobennosti tekhnologii vozdel'yvaniya sorgovykh kul'tur v zasushlivykh rayonakh Yugo-Vostoka Evropeyskoy chasti Rossii: rekomendatsii*. [Features of the technology of cultivating sorghum crops in the arid regions of the South-East of the European part of Russia: recommendations]. Saratov: FGNU RosNIISK «Rossorgo», 2008. 24 p.

41. Gorbunov V. S., Kostina G. I., Ishin A. G., Kolov O. V., Zhuzhukin V. I., Semin D. S., Efremova I. G., Lyashcheva S. V., Kibalnik O. P., Smirnova L. A., Revyakin E. L. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva zernovogo sorgo*. [Resource-saving technology of grain sorghum production]. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2012. 40 p.

42. Tsarev A. P. *Vliyaniye sposobov i gustoty posevov na produktivnost' zernovogo sorgo Pishchevye 614 v usloviyakh Saratovskoy oblasti*. [Influence of methods and density of crops on the productivity of grain sorghum Pishchevye 614 in the conditions of the Saratov region]. *Kukuruza i sorgo*. 2000;(6):19. (In Russ.).

43. Semin D. S., Gorbunov V. S., Kibalnik O. P. *Tekhnologiya vozdel'yvaniya novykh sortov zernovogo sorgo*. [Technology of cultivation of new varieties of grain sorghum]. *Kukuruza i sorgo*. 2016;(3):23-27. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Кибальник Оксана Павловна**, кандидат биол. наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», 1-й Институтский проезд, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1808-8974>, e-mail: kibalnik79@yandex.ru

Ефремова Ирина Григорьевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела сорговых культур, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», 1-й Институтский проезд, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7188-9332>

Бочкарева Юлия Валерьевна, кандидат с.-х. наук, зам. директора по научной работе и международному сотрудничеству, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», 1-й Институтский проезд, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru

Прахов Александр Владимирович, кандидат с.-х. наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», 1-й Институтский проезд, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru

Семин Дмитрий Сергеевич, кандидат с.-х. наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», 1-й Институтский проезд, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0442-6933>

Information about the authors

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

Irina G. Efremova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of sorghum crops, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize «Rossorgo», 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7188-9332>

Yuliya V. Bochkareva, PhD in Agricultural Science, Deputy Director for Research and International Cooperation, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize «Rossorgo», 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru

Aleksandr V. Prakhov, PhD in Agricultural Science, chief researcher, the Department of sorghum crops, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize «Rossorgo», 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru

Dmitry S. Semin, PhD in Agricultural Science, chief researcher, the Department of sorghum crops, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize «Rossorgo», 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0442-6933>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом (аналитический обзор)

© 2021. В. М. Кузнецов ✉

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

В этом исследовании мы сравнили разные подходы к использованию анализа молекулярной дисперсии (Analysis of Molecular Variance, AMOVA) для оценки генетической дифференциации популяций. Были использованы данные по 11 микросателлитным локусам 84 быков семи пород. Сравнивали результаты по трём опциям модуля AMOVA программы GenAlEx 6.502: по матрице дистанций между аллелями (рассчитывалась $F_{ST(W\&C)}$ ($=\theta$) статистика – вариант AMOVA1); по матрице дистанций между генотипами (Φ_{PT} – AMOVA2); по матрице различий в размерах аллелей (R_{ST} – AMOVA3). Получены сходные сводные оценки генетической дифференциации пород: $F_{ST(W\&C)} = 0,108$, $\Phi_{PT} = 0,115$, $R_{ST} = 0,110$ (все с $p_{perm} \leq 0,001$). Между попарными оценками $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} коэффициент корреляции был 0,99 ($p_{value} < 0,0001$); статистически значимых корреляций с R_{ST} не установлено. Обнаружена высокая корреляция $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} с попарными оценками дифференциации по Нею (0,96). Иные, чем GenAlEx программы (Arlequin v.3.5, GenePop v.4.7.3, RST22), давали схожих AMOVA-оценок. Установлена негативная линейная зависимость $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} оценок от уровня средней гетерозиготности породных выборок ($R^2 = 0,6$, $r_s = -0,75$ при $p_{value} < 0,02$) и отсутствие таковой для R_{ST} -оценок ($R^2 = 0,04$, $r_s = -0,23$ при $p_{value} = 0,47$). Стандартизация оценок $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} по Хедрику устранила эту зависимость и повысила первоначальные оценки до 0,35 и 0,37 соответственно. Последние были сопоставимы с оценками, полученными методами Нея-Хедрика (0,364-0,375), Джосста (0,292) и Морисита-Хорна (0,308). Корреляции Мантеля между матрицами парных по породам генетических дистанций (GD), рассчитанными разными мерами, в большинстве случаев были $>0,9$. Проекция матриц GD в анализе главных координат (PCoA) на 2D плоскости были в общем сходными. PCoA выделил кластер голштинских «экотипов», кластер «красных» пород и ветку джерсейской породы. В двухфакторном AMOVA данных по кластерам (как двух «регионов») межрегиональная GD составила 0,357; дифференциация пород в пределах «регионов» не превышала 0,027. Моделирование объединения пород с близкими к нулю GD привело к увеличению числа аллелей на locus в «новых» породах на 29 % и повышению сводной оценки генетической дифференциации на 29-46 %. Полученные результаты могут быть использованы при разработке мероприятий по сохранению вытесняемых пород.

Ключевые слова: разведение животных, микросателлиты, разнообразие, генетическая дифференциация, генетическая дистанция, AMOVA, анализ главных координат, сохранение генофонда

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0089).

Автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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/10.30766/2072-9081.2020.21.2.167-187>

Поступила: 16.02.2021

Принята к публикации: 02.04.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Assessment of genetic differentiation of populations by analysis of molecular variance (analytical review)

© 2021. Vasily M. Kuznetsov ✉

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

Different approaches to using the analysis of molecular variance (AMOVA) to assess the genetic differentiation of populations have been compared in the research. Data on 11 microsatellite loci of 84 bulls of seven breeds were used. The results were compared for three options of the AMOVA module of the GenAlEx 6.502 program: the allele distance matrix (calculated $F_{ST(W\&C)}$ ($=\theta$) statistics – variant AMOVA1); the genotype distance matrix (Φ_{PT} – AMOVA2); and the allele size difference matrix (R_{ST} – AMOVA3). Similar summary estimates of the genetic differentiation of breeds were obtained: $F_{ST(W\&C)} = 0.108$, $\Phi_{PT} = 0.115$, $R_{ST} = 0.110$ (all with $p_{perm} \leq 0.001$). Between the estimates of $F_{ST(W\&C)}$ and Φ_{PT} for each locus, the correlation coefficient was 0.99 ($p_{value} < 0.0001$); no statistically significant correlations with R_{ST} were found. A high correlation of $F_{ST(W\&C)}$ and Φ_{PT} with the estimates of differentiation according to Nei's (0.96) was found. Programs other than GenAlEx (Arlequin v.3.5, GenePop v.4.7.3, RST22) gave similar AMOVA estimates. The negative linear dependence of $F_{ST(W\&C)}$ and Φ_{PT} on the level of the average heterozygosity of the breed samples was established ($R^2 = 0.6$, $r_s = -0.75$ for $p_{value} < 0.02$) and the absence of such dependence for R_{ST} ($R^2 = 0.04$, $r_s = -0.23$ for $p_{value} = 0.47$). The standardization of the

$F_{ST(W\&C)}$ and Φ_{PT} estimates according to Hedrick's eliminated this dependence and raised the initial estimates to 0.35 and 0.37, respectively. The latter were comparable to the estimates obtained by the Nei-Hedrick's (0.364-0.375), Jost's (0.292), and Morisit-Horn's (0.308) methods. The Mantel correlations between the matrices of paired genetic distances (GD) calculated by different measures were >0.9 in most cases. The projections of the GD matrices in the principal coordinate analysis (PCoA) on the 2D plane were generally similar. The PCoA identified a cluster of Holstein «ecotypes», a cluster of «Red» breeds, and a branch of the Jersey breed. In the two-factor AMOVA of data on clusters (as two «regions»), the interregional GD was 0.357; the differentiation of breeds within the «regions» did not exceed 0.027. Modeling the association of breeds with close to zero GD resulted in an increase in the number of alleles per locus in the «new» breeds by 29 %, and an increase in the combined estimate of genetic differentiation by 29-46 %. The results obtained can be used in the development of measures for the conservation of endangered breeds.

Keywords: animal breeding, microsatellites, diversity, genetic differentiation, genetic distance, AMOVA, principal coordinate analysis, gene pool conservation

Acknowledgement: The research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0089).

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

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

For citation: Kuznetsov V. M. Assessment of genetic differentiation of populations by analysis of molecular variance (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;22(2):167-187. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.167-187>

Received: 16.02.2021

Accepted for publication: 02.04.2021

Published online: 19.04.2021

Каждый вид сельскохозяйственных животных подразделяется на породы. Породы, в свою очередь, подразделяются на стада, линии, семейства. С развитием молекулярно-генетических методов и ДНК-технологий стало возможным оценивать не только фенотипические различия между породами и их структурными элементами, но и непосредственно генетические различия (дифференциацию). Последнее важно и необходимо знать для эффективного планирования разведения и селекции коммерческих, сохранения исчезающих пород.

Почти 80 лет назад Wright [1] определил генетическую дифференциацию как различия частот аллелей между субпопуляциями, отражающие значительные отклонения генотипических частот от равновесия Харди-Вайнберга (Hardy-Weinberg Equilibrium, HWE) в общей популяции. Для характеристики распределения генетической изменчивости (гетерозиготности) внутри и между популяциями Райт ввёл индексы фиксации [2, 3]. Допускалась бесконечная островная модель (Infinite Island Model) структуры популяции, в которой диаллельные однолокусные субпопуляции равного размера обмениваются мигрантами в равных пропорциях. Индексы фиксации Райта оценивали размеры эффектов, подобных инбридингу, в пределах субпопуляций (F_{IS}), во всей популяции (F_{IT}) и между субпопуляциями (F_{ST}). Индексы не независимы и связаны отношением $(1 - F_{IT}) = (1 - F_{IS})(1 - F_{ST})$, из которого следует: $F_{ST} = (F_{IT} - F_{IS}) / (1 - F_{IS})$, что адекватно $F_{ST} = \sigma^2_{q(ST)} / [q_T(1 - q_T)]$, где q_T – частота аллеля A

в диаллельном локусе общей популяции, $\sigma^2_{q(ST)}$ – дисперсия частот аллели по субпопуляциям. F_{ST} есть мера степени завершения процесса фиксации аллелей в субпопуляциях («демографическая дифференциация» [4]). Если во всех субпопуляциях аллели имеют равные частоты, то $\sigma^2_{q(ST)} = 0$ и $F_{ST} = 0$. Если дисперсия равна биномиальному максимуму, $\sigma^2_{q(ST)} = q_T(1 - q_T)$, то $F_{ST} = 1$, т. е. разные аллели фиксированы по субпопуляциям (в смысле фиксации одного аллеля в локусе для формирования гомозиготы). Значения F_{ST} между этими двумя крайностями интерпретируют как «отображающие различные уровни структурирования» [5]: 0-0,05 – незначительная, 0,05-0,15 – умеренная, 0,15-0,25 – большая и $>0,25$ – очень большая дифференциация субпопуляций [6].

Nei [7, 8, 9] представил «коэффициент генной дифференциации» G_{ST} как адаптированный для использования в мультиаллельных мультилокусных популяциях аналог F_{ST} Райта: $G_{ST} = (H_T - H_S) / H_T$, где H_T – генное разнообразие в общей популяции, H_S – усреднённая гетерозиготность по субпопуляциям при HWE («генное разнообразие»). Статистика G_{ST} выведена из аддитивного разложения гетерозиготности. G_{ST} измеряет уровень вариации между субпопуляциями по отношению к общей вариации в популяции (не устанавливая идентичность участвующих аллелей). В отличие от F_{ST} для диаллельного локуса, величина G_{ST} зависит от уровня вариации полиморфных генов. Так, при анализе микросателлитов H_S и H_T могут приближаться к 1, а оценки G_{ST} ограничиваться диапазоном от 0 до $(1 - H_S)$,

т. е. усреднённым уровнем гомозиготности субпопуляций.

Hedrick [10] предложил стандартизовать G_{ST} на её максимальное значение: $G'_{ST} = G_{ST}/G_{ST(max)} = G_{ST}(k - 1 + H_S)/[(k - 1)(1 - H_S)]$, где k – число субпопуляций. G'_{ST} – это мера дифференциации субпопуляций относительно максимально возможной и, следовательно, она позволяет сравнивать результаты по локусам с разными уровнями вариации, типам маркеров, видам животных и исследованиям. Модификация G'_{ST} при небольшом числе анализируемых субпопуляций была предложена в [11]: $G''_{ST} = k(H_T - H_S)/[(k \times H_T - H_S)(1 - H_S)]$. Оценки G'_{ST} и G''_{ST} имеют диапазон от 0 до 1; их особо рекомендуют для расчёта парных генетических дистанций.

Альтернативный метод предложил Джост (Jost) [12]. Его статистика, D_{EST} – «истинная дифференциация», является мультипликативной и базируется на изменчивости эффективного числа аллелей. В терминах гетерозиготности $D_{EST} = [(H_T - H_S)/(1 - H_S)] \times [k/(k - 1)]$. Уровень гетерозиготности в субпопуляциях не влияет на значения D_{EST} ; их диапазон от 0 до 1. Как отмечал Уиллок (Whitlock) [13], « F_{ST} измеряет отклонения от панмиксии, в то время как D_{EST} измеряет отклонения от полной аллельной дифференциации» (цит. по [14]).

Cockerham [15, 16], Weir и Cockerham [17] для анализа генетической структуры популяции представили метод моментов (для нужных параметров находят несмещённые статистики, которые используют в качестве оценок). Были предложены: линейная модель для генов разных подразделений популяции, набор параметров для описания корреляций частот аллелей (f , F и θ), процедура их оценивания по дисперсиям между субпопуляциями, между индивидами в субпопуляции и между гаметам индивида. Weir [18] дал формулы декомпозиции молекулярной дисперсии в терминах и виде, обычных для классического дисперсионного анализа (Analyses of Variance, ANOVA). Принцип ANOVA: если дисперсия (варианса) между субпопуляциями такая же, как и дисперсия во всей популяции, то популяционной структуры нет. Оценки компонентов дисперсии внутри и между субпопуляциями используют для расчёта f , F и θ (тета) статистик, аналогичных индексам фиксации Райта, именно: f (F_{IS}) – отклонение от HWE в пределах субпопуляций или корреляция между аллелями индивида относительно собственной

субпопуляции (инбридинг в субпопуляциях); F (F_{IT}) – отклонение от HWE в популяции или корреляция между аллелями индивида относительно всей популяции (инбридинг в общей популяции); θ (F_{ST}) – доля генетического разнообразия, обусловленная различиями в частотах аллелей среди субпопуляций или корреляция между аллелями индивидов субпопуляции по отношению ко всей популяции (дифференциация субпопуляций). Оценка θ является количественной мерой дивергенции в группе из k субпопуляций; для двух субпопуляций – мерой расстояния или дистанции. θ характеризует не только степень дифференциации, но и представляет «коэффициент взаимного родства» (co-ancestry) индивидов [18]. Если θ используют в качестве описательной статистики для характеристики распределения генетического разнообразия среди субпопуляций (дифференциации), то нет необходимости в предположениях о дискретности анализируемых субпопуляций и об эволюционных процессах (мутации, миграции, отборе), которые могли бы привести к различиям между ними.

Excoffier с соавторами [19] трансформировали ANOVA Кокерхэма и Вейра в анализ молекулярной дисперсии (Analysis of Molecular Variance, AMOVA) для исследования изменчивости гаплотипов. Средние квадраты рассчитывают из матрицы квадратов евклидова расстояния между парами индивидов по гаплотипам ДНК. На выходе AMOVA даёт оценки варiances компонентов и статистику F_{PT} – аналог F_{ST} Райта. Если используют бинарные расстояния между гаплотипами, 1 – для идентичных и 0 – для разных гаплотипов, то оценки F_{PT} совпадают с θ . Метод достаточно гибок, чтобы приспособить несколько альтернативных входных матриц дистанций, соответствующих различным типам молекулярных данных, включая микросателлиты [20].

Slatkin [21] предложил R_{ST} -статистику (также подобную F_{ST} Райта), которая особенно подходит для маркеров с пошаговой моделью мутации (Stepwise Mutation Model, SMM). По SMM каждая мутация создаёт новый аллель, добавляя или удаляя повторный мотив с равной вероятностью. Иногда допускают, что нет никаких ограничений на число повторов, возможных в локусе. Аллели разного размера будут менее связаны, чем аллели аналогичного размера. Считают, что SMM имеет «память» размера аллели и более точно отражает

процесс мутации микросателлитов. Эту дополнительную «филогенетическую» информацию используют в ANOVA для оценки компонентов дисперсии размера аллелей или числа повторов пар оснований в каждом локусе с последующим расчётом R_{ST} -статистики: $R_{ST} = (S - S_w)/S$, где S – средняя сумма квадратов различий в размере аллелей между всеми парами аллелей; S_w – то же в пределах каждой субпопуляции.

Нами в предыдущей работе [22] были представлены результаты сравнительного анализа изменчивости аллелей 11 микросателлитных локусов семи породных выборок быков-производителей. Генетическую дифференциацию выборок оценивали статистиками F_{ST} , G_{ST} , G'_{ST} , G''_{ST} и D_{EST} . Также были использованы статистики GDN и uGDN (генетическая дистанция Нея и её несмещённая оценка [23, 24].

Цель аналитического обзора – сравнить разные подходы к использованию анализа молекулярной дисперсии (AMOVA) для оценки генетической дифференциации популяций; на микросателлитных данных по семи породным выборкам рассчитать сводные θ , Φ_{PT} и R_{ST} статистики, сопоставить полученные оценки, сравнить с результатами предыдущего исследования [22], рассчитать матрицы парных генетических дистанций и соотнести их 2-мерные проекции, двухфакторным AMOVA оценить «региональную» компоненту и рассмотреть последствия объединения породных выборок с малыми генетическими дистанциями (сходными аллельными профилями) на внутрипопуляционное разнообразие набора «новых» пород и их генетическую дифференциацию.

Материал и методы. Использованы те же данные, что и в предыдущем исследовании [22]. В частности, 84 быка ($= N$), каждый генотипирован по 11 STR-локусам (Simple Tandem Repeats – простые тандемные последовательности, также Short Tandem Repeats – короткие тандемные повторы)*, 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»** (отродий): 13 быков из Германии (H-DEU), 17 – из Нидерландов (H-NLD), 15 – из США (H-USA).

* База генетических данных по быкам на сайте ВНИИплем. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vniipleм.ru/rus/files/Database/DNK/mikrosatellity.pdf> (дата обращения: 09.12.2018).

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

*** Используют для сравнения с оценками дифференциации по иным, чем STR, типам маркеров.

Основные расчёты проводили с помощью компьютерной программы GenAlEx 6.502 [25, 26]. В модуле AMOVA для обработки кодоминантных данных использовали опции: **Codominant-Allelic** – генерирует матрицу парных дистанций между аллелями размером $2N \times 2N$ с последующим расчётом F_{ST} -статистики ($= \theta$) – в данной работе обозначается $F_{ST(W\&C)}$ (F_{ST} по методу Weir & Cockerham), чтобы не путать с F_{ST} Райта и Нея (вариант AMOVA1); **Codominant-Genotypic** – генерирует матрицу парных дистанций между генотипами размером $N \times N$ с последующим расчётом Φ_{PT} -статистики с подавлением внутрииндивидуальной изменчивости*** (вариант AMOVA2); **Codominant-Microsat** – генерирует матрицу дистанций, как и при опции **Codominant-Allelic**, но на основе *размеров* аллелей с последующим расчётом R_{ST} -статистики (вариант AMOVA3).

Все три статистики оценивают долю STR-изменчивости между субпопуляциями относительно общей изменчивости во всей популяции:

$$F_{ST(W\&C)} = \frac{\sigma_{AP}^2}{\sigma_{AP}^2 + \sigma_{AI}^2 + \sigma_{WI}^2},$$

$$\Phi_{PT} = \frac{\sigma_{AP}^2}{\sigma_{AP}^2 + \sigma_{WP}^2}, \quad R_{ST} = \frac{\sigma_{AP}^2}{\sigma_{AP}^2 + \sigma_{AI}^2 + \sigma_{WI}^2},$$

где σ^2 – дисперсия (дисперсия); субиндексы:

AP – между субпопуляциями,

AI – между индивидами,

WI – внутри индивидов,

WP – внутри популяции.

Статистическая значимость отклонения оценок от нуля в программе GenAlEx проверяется пермутационным тестом: нулевая гипотеза (H_0) – нет генетических различий между субпопуляциями ($F_{ST(W\&C)} = 0$, или $\Phi_{PT} = 0$, или $R_{ST} = 0$); альтернатива (H_1) – есть генетические различия между субпопуляциями ($F_{ST(W\&C)} > 0$ или $\Phi_{PT} > 0$, или $R_{ST} > 0$). В общем, H_0 в AMOVA заключается в том, что анализируемые субпопуляции допускаются частями одной большой случайно спариваемой генетической популяции. Если это истинно, то любая подразделённость случайна, и субпопуляции являются лишь выборками из единого генофонда.

Было показано [12, 21], что с увеличением уровня генетического разнообразия в пределах субпопуляций статистики дифференциации изменяются не линейно. Другими словами, чем больше внутрисубпопуляционная гетерозиготность, тем меньше их приращение. Программа GenAlEx выполняет линеаризацию оценок, например $F_{ST(W\&C)}$ -оценки:

$$\ln F_{ST(W\&C)} = F_{ST(W\&C)} / (1 - F_{ST(W\&C)}).$$

Уровень гетерозиготности в (суб-)популяции не полностью зависит от числа аллелей (по нашим данным $r = 0,68$, $r^2 = 0,46$), т. к. верхний предел, равный 1, одинаков для любого числа аллелей. Для STR-маркеров, внутрисубпопуляционная дисперсия часто почти столь же большая, как общая дисперсия. Это приводит к низким оценкам дифференциации, даже если анализируемые субпопуляции общих аллелей не имели [10, 27, 22]. В GenAlEx эта проблема решается стандартизацией статистик дифференциации посредством деления первоначальной оценки на её *максимально возможное* значение при фактической внутрисубпопуляционной гетерозиготности [27]. Например, стандартизированная $F_{ST(W\&C)}$ есть

$$F'_{ST(W\&C)} = F_{ST(W\&C)} / F_{ST(W\&C)max}.$$

Результаты AMOVA по GenAlEx сравнивались с таковыми по программам Arlequin v.3.5 [28], GenePop v.4.7.3 [29, 30], RST22 [31], SpaideR [32]. Для регрессионно-корреляционного анализа использовалась программа STATGRAPHICS® Centurion XVI [33].

Для сравнения подходов к использованию анализа молекулярной дисперсии (AMOVA) проведен отбор научных статей на английском языке в библиографических базах «Google Scholar» и «Scopus», статей на русском языке – в библиографической базе «Google Scholar» и «Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU». Также были изучены пристатейные списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных статей. Поиск публикаций осуществляли по следующим ключевым словам: molecular markers, population genetics, population structure, biodiversity, diversity indices, analysis of molecular variance (AMOVA), genetic resources, conservation genetics, dairy cow, data analysis, multivariate statistical analyses. Также в комбинации с предыдущими терминами для поиска были использованы следующие ключевые слова: microsatellite, heterozygosity, Wright's F-statistics, Nei's

G-statistics, Jost's D-statistic, genetic differentiation among populations, distance matrix, ordination, PCoA, Mantel-test.

Результаты и обсуждения. Декомпозиция общей STR-дисперсии. В таблице 1 представлены результаты разложения STR-дисперсии. В рамках фиксированной статистической модели (до оценки варiances) наибольший интерес представляет отношение $\eta^2 = SS_{AP} / SS_{Tot}$ (η – эта), которое в определённой степени характеризует *размер эффекта* – относительную долю (или процент) генетических различий между породными выборками. По AMOVA1 это отношение составило 12,4 %, в AMOVA2 – 16,6 % и 12,4 % по AMOVA3. Нулевая гипотеза, $\eta^2 = 0$, проверялась F-критерием Фишера через отношение MS_{AP} к MS_{WI} (для AMOVA2 – $F = MS_{AP} / MS_{WP}$). F-критерии Фишера составили 3,45, 2,6 и 3,45 для AMOVA1, AMOVA2 и AMOVA3, что, учитывая соответствующие степени свободы (df), говорит о статистически значимых на уровне $\alpha \leq 0,05$ межпородных различиях. Следует, однако, отметить, что этот тест в строгом смысле не является корректным для данных анализов. Распределение индикаторных переменных (аллелей), x_{ij} , не является нормальным. Поэтому отношение MS_{AP} / MS_{WP} не подчиняется F-распределению и не может служить статистикой критерия [18], но η^2 может быть предварительной оценкой и/или дополнением к анализу результатов по модели случайного типа.

Когда используется статистическая модель с рандомизированными (случайными) эффектами, то конечным продуктом процедуры AMOVA являются варiances компоненты – Est.Var. или σ^2 . Их оценки представлены в последнем столбце таблицы 1.

Для трёх вариантов AMOVA матрицы дистанций имели разные основы. Поэтому абсолютные значения варiances для одних и тех же уровней структуры данных значительно различались. Чтобы сопоставить величины варiances из разных анализов, использовали соотношение $\sigma_{WI}^2 / \sigma_{AP}^2$, которое для AMOVA1 и AMOVA3 было равно 9. В AMOVA2 изменчивость между аллелями внутри индивидов игнорируется, но рассчитывается внутрисубпопуляционная варiances. Её отношение к межсубпопуляционной варiances составило около 8 (достаточно близко к 9).

Таблица 1 – AMOVA-результаты по программе GenAlEx /
Table 1 – AMOVA-results of the program GenAlEx

Вариант / Variant	Источник / Source	df	SS	MS	Est. Var.
AMOVA1	AP	6	86,9	14,5	0,46
	AI	77	266,7	3,5	0,0*
	WI	84	349,5	4,2	4,16
	Tot	167	703,1	-	4,62
AMOVA2	AP	6	28,1	4,6	0,24
	WP	77	141,7	1,8	1,84
	Tot	83	169,8	-	2,08
AMOVA3	AP	6	9199,9	1533,3	49,40
	AI	77	27604,1	358,5	0,0*
	WI	84	37308,5	444,1	444,15
	Tot	167	74112,5	-	493,56

Примечания: AP – между субпопуляциями, AI – между индивидами, WI – внутри индивидов, WP – внутри популяции, Tot – общая; df – степень свободы; SS – сумма квадратов отклонений; MS – средний квадрат; Est.Var. – оценка вариационного компонента. * – отрицательное значение вариации приравнено нулю /

Notes: AP – between populations, AI – between individuals, WI – within individuals, WP – within population, Tot – total; df – degree of freedom; SS – sum of squared deviations; MS – mean square; Est.Var. – estimation of the variance component. * – the negative value of the option is equal to zero.

Оценки коэффициентов инбридинга и дифференциации. По вариантам таблицы 1 получены сводные коэффициенты инбридинга и генетической дифференциации породных выборок (табл. 2).

По AMOVA1 усреднённый внутривыборочный коэффициент инбридинга (точнее – индекс фиксации, F_{IS}) составил -9,1 %, что могло бы указывать на некоторый избыток гетерозигот. Но оценка была статистически незначимой ($p_{perm} > 0,05$). С другой стороны, индекс фиксации в обобщенной выборке (F_{IT}) был +2,7 %, что могло свидетельствовать

о некотором преобладании родственного разведения, если бы оценка была статистически значимой. В AMOVA3 расчёты основывались не на анализе частот аллелей, как в AMOVA1, а на размере аллелей. Несмотря на это, две оценки, характеризующие систему спаривания, R_{IS} и R_{IT} , оказались относительно близкими к таковым по AMOVA1, соответственно, -10,7, +1,5 % и также были статистически незначимыми ($p_{perm} > 0,05$). В общем, по имеющимся данным в породных выборках статистически значимых отклонений от HWE не было установлено.

Таблица 2 – Оценки коэффициентов инбридинга и статистик генетической дифференциации выборок по программе GenAlEx /

Table 2 – Estimates of inbreeding coefficients and statistics of genetic differentiation of samples according to the GenAlEx program

AMOVA1			AMOVA2			AMOVA3		
Stat.	Est.	p_{perm}	Stat.	Est.	p_{perm}	Stat.	Est.	p_{perm}
F_{IS} (f)	-0,091	1,000	-	-	-	R_{IS}	-0,107	0,985
F_{IT} (F)	0,027	0,081	-	-	-	R_{IT}	0,015	0,375
$F_{ST(W\&C)}$ (θ)	0,108	0,001	Φ_{PT}	0,115	0,001	R_{ST}	0,110	0,001

Примечания: Stat. – статистика; Est. – оценка; p_{perm} – достигнутый уровень статистической значимости (пермутационный тест с 999 перестановками); F_{IS} (R_{IS}) – коэффициент инбридинга в пределах выборок ($= \sigma_{AI}^2 / \sigma_{Tot}^2$); F_{IT} (R_{IT}) – коэффициент инбридинга в объединённой выборке ($= (\sigma_{AP}^2 + \sigma_{AI}^2) / \sigma_{Tot}^2$); $F_{ST(W\&C)}$ (θ), Φ_{PT} , R_{ST} – статистики генетической дифференциации породных выборок /

Notes: Stat. – statistic; Est. – estimation; p_{perm} – achieved level of statistical significance (permutation test with 999 permutations); F_{IS} (R_{IS}) – inbreeding coefficient within the samples ($= \sigma_{AI}^2 / \sigma_{Tot}^2$); F_{IT} (R_{IT}) – inbreeding coefficient in the combined sample ($= (\sigma_{AP}^2 + \sigma_{AI}^2) / \sigma_{Tot}^2$); $F_{ST(W\&C)}$ (θ), Φ_{PT} , R_{ST} – statistics of genetic differentiation of breed samples.

Главный интерес представляли статистики, характеризующие уровень STR-дифференциации породных выборок. Рассчитанная по AMOVA1 статистика $F_{ST(W\&C)}$ составила 0,108 или 10,8 % при $p_{perm} < 0,001$. В варианте AMOVA2, в котором внутрииндивидуальная STR-изменчивость игнорировалась, Φ_{PT} -оценка незначительно превышала таковую варианта AMOVA1 и составила 11,5 % при $p_{perm} < 0,001$. В AMOVA3, где расчёты базировались на размерах аллелей, R_{ST} -оценка составила 11 % при $p_{perm} < 0,001$, что практически эквивалентно значению по AMOVA1. Полученные величины интерпретируют как «представляющие довольно слабую (rather weak) популяционную структуру» [11]. Отметим, рассчитанные выше оценки размера эффекта (η^2) были лишь на 1-5 процентных пункта выше.

Полокусные оценки дифференциации. Для исследования степени связности разных мер STR-дифференциации имеющийся набор данных был разделён на 11 псевдонаборов каждый с разным локусом. Все псевдонаборы были обработаны тремя вариантами AMOVA для получения соответствующих полокусных оценок дифференциации и внутривыборочной гетерозиготности (cH_s). В результате сформировалась выборка с четырьмя переменными (три оценки AMOVA + cH_s) и 11 записями (локусы). Взаимосвязь между переменными оценивалась непараметрическим коэффициентом корреляции Спирмена (r_s) и тестировалась достигнутым уровнем статистической значимости (p_{value}).

Между полокусными оценками $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} корреляция Спирмена была 0,99 при $p_{value} < 0,0001$. В то же время между указанными статистиками и R_{ST} значимой взаимосвязи не было установлено (r_s для $F_{ST(W\&C)} \times R_{ST}$ была 0,28, для $\Phi_{PT} \times R_{ST}$ – 0,32 обе с $p_{value} = 0,31$). При практически равных сводных оценках, отсутствие взаимосвязи между полокусными оценками было неожиданным.

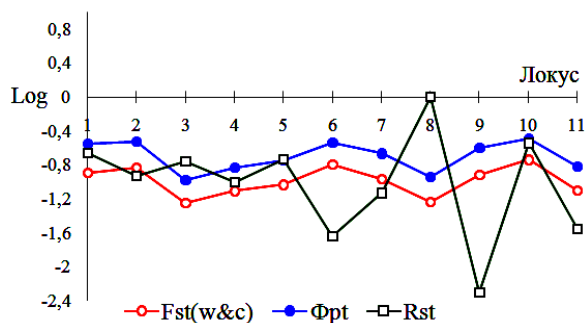


Рис. 1. Логарифмы $F_{ST(W\&C)}$ -, Φ_{PT} - и R_{ST} -статистик по 11 STR-локусам /

Fig. 1. Logarithms of $F_{ST(W\&C)}$ -, Φ_{PT} - and R_{ST} -statistics for 11 STR loci

Графики рисунка 1 прояснили причину получения таких результатов, именно: логарифмы ($\log_{10}$) оценок R_{ST} по шестому, восьмому и девятому локусам очень сильно отклонялись от таковых по $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} мерам, изменение которых по локусам было практически синхронным. Отметим также, коэффициенты вариации полокусных $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} оценок были соответственно 37,8 и 36,6 %, в то время как R_{ST} оценок – 91 %! R_{ST} -оценки по локусам имели очень большой разброс, что может характеризовать вариант AMOVA3 не с лучшей стороны (ненадёжный при оценке по ограниченному числу локусов). Кроме того, имеется мнение, что, если даже мутации строго пошаговые, R_{ST} не всегда является лучше оценкой, чем $F_{ST(W\&C)}$ [34]. Это может быть в случае, когда интересующий временной период короткий, а влияние мутаций сравнительно невелико [21]. Также полагают, что микросателлиты почти никогда строго не следуют пошаговой мутационной модели. Поэтому советуют избегать использования R_{ST} -статистики [35].

AMOVA-оценки по иным, чем GenAlEx программам. Была проведена проверка степени подобия статистик дифференциации, полученных по программе GenAlEx, с таковыми при использовании (на тех же самых данных) модуля AMOVA в других компьютерных программах. Результаты представлены в таблице 3.

Оценки STR-дифференциации породных выборок, $F_{ST(W\&C)}$ (R_{ST}), имели высокий уровень статистической значимости ($p_{perm} < 0,001$). Все оценки по программе Arlequin были идентичны таковым по программе GenAlEx. Поэтому, как представляется, 95 % доверительные интервалы (confidence interval, CI) оценок по F_{ST} и R_{ST} мерам, рассчитанные в программе Arlequin, можно приложить и к оценкам по программе GenAlEx.

По программе GenePop оценка была идентичной [GenAlEx] только в варианте AMOVA1; по варианту AMOVA3 R_{ST} -оценка была на 22 % ниже, но не выходила за границы 95 % CI, рассчитанного в программе Arlequin.

По программе RST22 были получены две оценки R_{ST} : усреднённая по локусам, равная 0,115, и средневзвешенная (по средним квадратам отклонений) – 0,122. Последняя была на 6,1 % выше, но 95 % CI двух оценок перекрывались, следовательно различие между ними было статистически незначимым. Оценки по RST22 были на 4,5-10,9 % выше, чем в программе GenAlEx, но в пределах 95 % CI, рассчитанного в программе Arlequin.

Таблица 3 – AMOVA по программам Arlequin v.3.5, GenePop v.4.7.3 и RST22 /
Table 3 – AMOVA for Arlequin v.3.5, GenePop v.4.7.3 and RST22 programs

AMOVA1				AMOVA3			
Arlequin v.3.5							
Stat.	Est.	95% CI _L	95% CI _U	Stat.	Est.	95% CI _L	95% CI _U
F _{IS} (f)	-0,091	-0,142	-0,046	R _{IS}	-0,107	-0,175	0,008
F _{IT} (F)	0,027	0,011	0,064	R _{IT}	0,015	-0,030	0,129
F _{ST} (θ)	0,108	0,086	0,133	R _{ST}	0,110	0,036	0,174
GenePop v.4.7.3							
F _{IS} (f)	-0,091	-	-	R _{IS}	-0,123	-	-
F _{IT} (F)	0,026	-	-	R _{IT}	-0,025	-	-
F _{ST} (θ)	0,108	-	-	R _{ST}	0,086	-	-
RST22							
AMOVA3 Est.av.				AMOVA3 Est.w.			
R _{ST}	0,115	0,109	0,180	R _{ST}	0,122	0,110	0,218

Примечания: Est.av. – усреднённая по локусам; Est.w. – взвешенная по локусам; 95% CI – 95% доверительный интервал; субиндексы L и U – нижняя и верхняя границы CI /

Notes: Est.av. – averaged by loci; Est.w. – weighted by loci; 95 % CI – 95 % confidence interval; subindexes L and U – lower and upper bounds of CI.

Таким образом, все используемые компьютерные программы обеспечивали получение эквивалентных или близких (в пределах 95 % CI) оценок уровня STR-дифференциации породных выборок.

Сравнение с оценками по Нею (Nei). Ранее [22] на этих же STR-данных в программе GenAlEx были получены оценки генетической дифференциации на основе анализа внутри- и межвыборочной ожидаемой гетерозиготности. В частности, были рассчитаны оценки F_{ST} – адаптированного Неем индекса фиксации Райта [23], G_{ST} – коэффициента генной дифференциации Нея [8] и G_{ST(NEI)} – модифицированной Неем G_{ST}-меры, учитывающей число анализируемых выборок [36]. Эти оценки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Сводные оценки статистик дифференциации по Нею [22] /

Table 4 – Summary estimates of the differentiation statistics for Nei's [22]

	F _{ST}	G _{ST}	G _{ST(NEI)}
Est.	0,134	0,103	0,118
Error	0,013	0,014	0,015
95% CI _L	0,111	0,080	0,093
95% CI _U	0,159	0,130	0,148
p _{perm}	0,001	0,001	0,001

Если исключить F_{ST}-оценку, при расчёте которой не учитывается ни число выборок,

ни их размеры, то оценки G-статистик были достаточно близки к AMOVA-оценкам. При расчёте G_{ST} учитывались численности выборок через их среднегармонический размер, при расчёте G_{ST(NEI)} также число выборок. Поэтому оценка G_{ST(NEI)} = 0,118 представляется более корректной. Её величина особенно хорошо соотносится с оценкой Ф_{PT} = 0,115, полученной в программе GenAlEx, и с оценками R_{ST}, рассчитанными в программе RST22 – 0,115 и 0,122.

В общем можно полагать, что все используемые методы и компьютерные программы производили вполне сопоставимые оценки статистик генетической дифференциаций. Коэффициенты ранговой корреляции между полокусными F_{ST}-, G_{ST}- и G_{ST(NEI)}-оценок с F_{ST(W&C)}- и Ф_{PT}-оценками были равны 0,96 при p_{value} = 0,0023, с R_{ST}-оценками – 0,29 при p_{value} = 0,3576. Эти соотношения были близки к таковым, полученными выше между оценками по F_{ST}-, Ф_{PT}- и R_{ST}-мерам.

Стандартизация AMOVA-оценок. На гипотетических примерах было показано, что при анализе мультиполиморфных маркеров уровень гетерозиготности в субпопуляциях (сНs) оказывает негативное влияние на статистики дифференциации, занижая их оценки [10, 37]. Это нашло подтверждение при расчёте G-статистик [22]. Полокусные наборы данных были использованы для изучения влияния внутривыборочной гетерозиготности (сНs) на AMOVA-оценки (рис. 2).

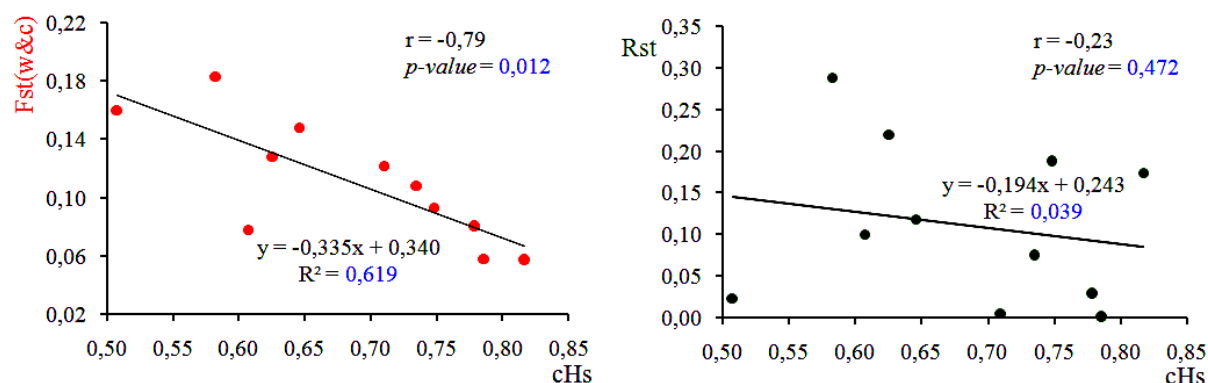


Рис. 2. Зависимость $F_{ST(W\&C)}$ - и R_{ST} -оценок от внутривыборочной гетерозиготности (cHs) (оценки по каждому локусу; r – корреляция по Спирмену, R^2 – коэффициент детерминации линейной модели) /

Fig. 2. Dependence of $F_{ST(W\&C)}$ - and R_{ST} -estimates on intrasample heterozygosity (cHs) (estimates for each locus; r – Spearman correlation, R^2 – coefficient of determination of the linear model)

С повышением cHs оценки $F_{ST(W\&C)}$ снижались, их диапазон сужался. Подобная закономерность имела место для полокусных Φ_{PT} -оценок ($y = -0.602x + 0.628$, $R^2 = 0.565$; на рисунке нет), но отсутствовала для R_{ST} -оценок (рисунок 2 справа). Негативная зависимость $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} оценок от внутривыборочной гетерозиготности была достаточно высокой и статистически значимой. В случае с R_{ST} такой зависимости не наблюдалось.

Для устранения занижения оценок дифференциации при высокой внутрисубпопуляционной гетерозиготности Hedrick ввёл стандартизацию G_{ST} -статистики на её возможное максимальное значение – $G_{ST(max)}$ [10]. Следуя за подходом Hedrick, Meirmans [27] предложил вычислять стандартизованную Φ_{PT} -статистику: $\Phi'_{PT} = \Phi_{PT}/\Phi_{PT(max)}$. Оценку $\Phi_{PT(max)}$ получают путём максимизации межпопуляционной дисперсии, σ_{AP}^2 , через межпопуляционную сумму квадратов отклонений $SS(AP)$ при фактической внутрисубпопуляционной дисперсии, σ_{WP}^2 :

$$\Phi_{PT(max)} = \sigma_{AP(max)}^2 / (\sigma_{AP(max)}^2 + \sigma_{WP}^2).$$

Этот подход заложен в программе GenAlEx. В нашем случае оценка $\Phi_{PT(max)}$ составила 0,308, а стандартизованное значение Φ_{PT} :

$$\Phi'_{PT} = 0.115/0.308 = 0.373 \text{ или } \approx 37 \%.$$

Стандартизованная оценка $F_{ST(W\&C)}$, $F'_{ST(W\&C)}$, была 0,351 или $\approx 35 \%$ от максимального значения. Обе стандартизованные оценки более чем в три раза превышали исходные. Сводная F_{ST} -оценка по программе Arlequin v.3.5 была 10,8 % (как и $F_{ST(W\&C)}$) с 95 % CI 8,6...13,3 % (табл. 3). Если стандартизовать значения доверительного интервала, то можно полагать, что с вероятностью 95 %

истинная $F'_{ST(W\&C)}$ находится в диапазоне от 28 до 43 %. Эта интервальная оценка указывает на очень выраженную популяционную структуру анализируемых данных (в противоположность заключению по первичным оценкам).

На рисунке 3 показано распределение полокусных оценок $F'_{ST(W\&C)}$ в зависимости от внутривыборочной гетерозиготности. Коэффициент детерминации (R^2) линейной модели был 0,002, а коэффициент корреляции Спирмена – $-0,05$ при $p\text{-value} = 0,875$. Стандартизация устранила влияние внутривыборочной гетерозиготности на оценки дифференциации.

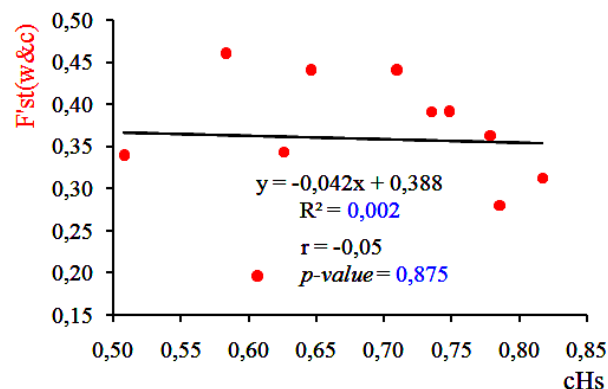


Рис. 3. Зависимость $F'_{ST(W\&C)}$ -оценок от внутривыборочной гетерозиготностью (cHs) /

Fig. 3. Dependence of $F'_{ST(W\&C)}$ estimates on intrasample heterozygosity (cHs)

Аналогичные результаты были получены в наших предыдущих исследованиях [22]. Так, сводные оценки генетической дифференциации методами Нея (G_{ST} и $G_{ST(NEI)}$) были 10,3-11,8 %. После стандартизации по Hedrick [10] они составили 36,4-37,5 %. При использовании метода Джоста (Jost) на базе эффективного числа аллелей [12], результаты которого

не зависят от внутрисубпопуляционной гетерозиготности, сводная оценка (D_{EST}) была 29,2 %.

Расчёты в рамках данной работы методом Морисита-Хорна (Morisita-Horn) по программе SpadeR (при «number Hill» $q = 2$; [32]) показали STR-дифференциацию породных выборок на уровне 30,8 % с 95 % CI 27,5...34,2 % (в среднем около 1/3 аллелей одной выборки не являлись общими для других породных выборок). Однако заметим, оценка по этой же программе региональной дифференциации (Regional diff.) была на уровне 5 % с 95 % CI 4...6 %, т.е. 5 % аллелей в совокупной выборке не являлись общими для той или иной породной выборки.

Генетические дистанции. Сводные оценки характеризовали обобщённую дифференциацию породных выборок, нивелируя двухсторонние генетические отношения. Попарные

генетические дистанции (Genetic Distance, GD) позволяют выявить наличие или отсутствие пространственной структуры среди породных выборок. Упрощенно, GD между двумя животными (породами) можно представить, как долю или процент аллелей локуса(-ов), которые не являются общими; при GD равной нулю оба животных (породы) имеют одни и те же (общие) аллели с одинаковыми частотами.

В таблице 5 даны треугольные матрицы парных GD, которые были получены по разным вариантам AMOVA. В большей степени оценки GD варьировали в пределах матриц, указывая на неоднородность генетических отношений между породными выборками. Между матрицами оценки GD варьировали в меньшей степени, свидетельствуя о незначительном влиянии вида STR-данных, вводимых в модуль AMOVA программы GenAlEx.

Таблица 5 – Треугольные матрицы парных генетических дистанций (под диагональю – AMOVA-оценки, над диагональю – p_{perm} ; $\alpha_{Bonf} = 0,05/21 = 0,0024$) /

Table 5 – Triangular matrices of paired genetic distances (under the diagonal – AMOVA-estimates, above the diagonal – p_{perm} ; $\alpha_{Bonf} = 0.05/21 = 0.0024$)

Порода / Breed	AYR	JER	RDAT	RSH	H-DEU	H-NLD	H-USA
AMOVA1 ($F_{ST(W\&C)}$)							
AYR	-	0,001	0,429	0,251	0,001	0,001	0,001
JER	0,217	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
RDAT	0,001	0,250	-	0,330	0,001	0,001	0,001
RSH	0,008	0,275	0,005	-	0,001	0,001	0,001
H-DEU	0,112	0,181	0,120	0,119	-	0,171	0,241
H-NLD	0,089	0,163	0,100	0,105	0,008	-	0,008
H-USA	0,124	0,216	0,123	0,121	0,006	0,030	-
AMOVA2 (Φ_{PT})							
AYR	-	0,001	0,291	0,248	0,001	0,001	0,001
JER	0,210	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
RDAT	0,007	0,246	-	0,281	0,001	0,001	0,001
RSH	0,011	0,266	0,010	-	0,001	0,001	0,001
H-DEU	0,111	0,178	0,123	0,120	-	0,065	0,186
H-NLD	0,105	0,186	0,120	0,124	0,013	-	0,001
H-USA	0,125	0,213	0,128	0,125	0,007	0,038	-
AMOVA3 (R_{ST})							
AYR	-	0,001	0,109	0,101	0,001	0,001	0,001
JER	0,175	-	0,001	0,003	0,004	0,001	0,001
RDAT	0,030	0,180	-	0,342	0,002	0,002	0,002
RSH	0,043	0,185	0,006	-	0,011	0,004	0,010
H-DEU	0,203	0,142	0,152	0,113	-	0,376	0,386
H-NLD	0,209	0,161	0,189	0,139	0,000	-	0,372
H-USA	0,169	0,132	0,145	0,090	0,000	0,000	-

Наибольшие GD имели место между JER-выборкой и остальными породными выборками (0,14-0,27). Заметные GD (0,1-0,2) были между группой «красных» пород (AYR, RDAT, RSH) и группой голштинских «экотипов». В то же время в пределах этих двух групп GD между породными выборками были нулевые или близкие к нулю. С вероятностью ошибки $\alpha_{Bonf} = 0,0024$ (множественный тест Бонферрони) из 21 парных сравнение 15 оценок GD были статистически значимыми. GD между породными выборками AYR с RDAT, AYR с RSH, RDAT с RSH и между голштинскими выборками (кроме H-NLD с H-USA по Φ_{PT}) были статистически незначимыми по всем трём мерам ($p_{perm} > \alpha_{Bonf} = 0,0024$).

В таблице 6 даны четыре треугольные матрицы парных GD: две по AMOVA1 с линейаризированными ($\ln F_{ST(W\&C)}$) и стандартизированными ($F'_{ST(W\&C)}$) элементами, по Нею со стандартизацией Хедрика ($G''_{ST(HEd)}$) и по Джосту (D_{EST}); две последние из работы [22]. Диапазон $\ln F_{ST(W\&C)}$ -дистанций был от 0,001

(AYR с RDAT) до 0,380 (JER с RSH) со средней **0,137**. Диапазон не представленных в таблице 6 $\ln R_{ST}$ -дистанций был от 0 (между всеми голштинскими выборками) до 0,265 (AYR с H-NLD) со средней **0,140**; $\ln \Phi_{PT}$ -дистанции – от 0,007 до 0,363 со средней **0,142**.

Стандартизированные оценки GD ($F'_{ST(W\&C)}$) были существенно выше первоначальных ($F_{ST(W\&C)}$). Например, если $F_{ST(W\&C)}$ -дистанция между JER и AYR выборками была 0,217 (табл. 5), а её линейаризованная оценка, $\ln F_{ST(W\&C)}$, – 0,277 (табл. 6), то стандартизованная $F'_{ST(W\&C)}$ -дистанция составила 0,590. Последняя была эквивалентна дистанции по Нею-Хедрику ($G''_{ST(HEd)} = 0,590$), и на 19 % превышала оценку по Джосту ($D_{EST} = 0,477$). Расчёты по программе SpadeR методом Морисита-Хорна (Morisita-Horn), который приравнивается к методу Джоста [32], показали дистанцию, усреднённую по локусам, равную 0,447, а взвешенную на инверсию квадратичной ошибки – 0,516 с 95 % CI 0,441...0,590.

Таблица 6 – Треугольные матрицы парных генетических дистанций по $\ln F_{ST(W\&C)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$, $G''_{ST(HEd)}$ и D_{EST} мерам /

Table 6 – Triangular matrices of paired genetic distances by $\ln F_{ST(W\&C)}$ and $F'_{ST(W\&C)}$, $G''_{ST(HEd)}$ and D_{EST} measures

Порода/Breed	AYR	JER	RDAT	RSH	H-DEU	H-NLD	H-USA
Под диагональю $\ln F_{ST(W\&C)}$, над диагональю $F'_{ST(W\&C)}$ / Under the diagonal $\ln F_{ST(W\&C)}$, above the diagonal $F'_{ST(W\&C)}$							
AYR	-	0,590	0,005	0,026	0,401	0,337	0,389
JER	0,277	-	0,663	0,729	0,522	0,498	0,563
RDAT	0,001	0,333	-	0,017	0,416	0,371	0,377
RSH	0,008	0,380	0,006	-	0,414	0,388	0,372
H-DEU	0,127	0,222	0,137	0,135	-	0,034	0,020
H-NLD	0,097	0,194	0,111	0,117	0,009	-	0,107
H-USA	0,141	0,276	0,140	0,138	0,006	0,031	-
Под диагональю $G''_{ST(HEd)}$, над диагональю D_{EST} / Under the diagonal $G''_{ST(HEd)}$, above the diagonal D_{EST}							
AYR	-	0,477	0,003	0,019	0,325	0,270	0,302
JER	0,590	-	0,551	0,626	0,417	0,401	0,443
RDAT	0,005	0,663	-	0,012	0,337	0,300	0,289
RSH	0,026	0,728	0,017	-	0,336	0,316	0,285
H-DEU	0,401	0,524	0,417	0,416	-	0,024	0,014
H-NLD	0,335	0,501	0,371	0,388	0,032	-	0,079
H-USA	0,387	0,565	0,377	0,372	0,019	0,107	-

Примечание: Матрицы с $G''_{ST(HEd)}$ и D_{EST} дистанциями из публикации [22] /

Note: Matrices with $G''_{ST(HEd)}$ and D_{EST} distances from the publication [22]

Между JER и H-USA выборками $F_{ST(W\&C)}$ -, $\text{lin}F_{ST(W\&C)}$ -, $F'_{ST(W\&C)}$ -, $G''_{ST(HED)}$ - и D_{EST} -дистанции были, соответственно, 0,216, 0,276, 0,563, 0,565 и 0,443. По программе SpadeR усреднённая по локусам GD была 0,472, средневзвешенная – 0,373 с 95 % CI 0,304...0,443. Если предпочтение отдать последней оценке (0,373), как, на наш взгляд, наиболее обоснованной, и принять её за 100 %, то оценки $F_{ST(W\&C)}$ и $\text{lin}F_{ST(W\&C)}$ были *занижены*, примерно, в 1,5 раза, $F'_{ST(W\&C)}$ и $G''_{ST(HED)}$ – *завышены* в 1,5 раза, а оценка по Джосту была ниже на 20 %.

Тест Мантеля. Чтобы оценить степень сходства/подобия матриц парных GD, использовали тест Мантеля (корреляцию Мантеля, R_M) с рандомизированной пермутационной (random permutation) проверкой статистической значимости. Величина $R_M = 1$ указывает на то, что увеличение GD между субпопуляциями i и j в матрице X связано с увеличением GD между этими субпопуляциями в матрице Y , т. е. на сходство матриц. В нашем случае – два типа представления данных для AMOVA обеспечивают получение подобных структур генетических взаимоотношений выборок. $R_M = -1$ указывает на противоположный результат. Величина R_M , близкая к нулю, свидетельствует о некоррелированности матриц, т. е. разные типы -данных приводят к независимым оценкам парных GD.

Между $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} матрицами корреляция Мантеля была 0,99 при $p_{perm} = 0,010$. Тесты Мантеля этих двух матриц с R_{ST} -матрицей показали более низкие значения R_M , соответственно, 0,75 при $p_{perm} = 0,05$ и 0,80 при $p_{perm} = 0,02$. R_M есть мера линейной зависимо-

сти; квадрат R_M (R_M^2) – это коэффициент детерминации, представляющий долю или процент общей для двух матриц вариации. R_M^2 более точно характеризует сопряжённость матриц, а $(1-R_M^2)$ – долю «необъяснённой» вариации или *коэффициент неопределённости*. Для рассматриваемых матриц R_M^2 составили, соответственно, 98, 56 и 64 %. Если в первом случае коэффициент неопределённости был всего 2 %, то в двух других – 44 и 36 %. Следовательно, по вариантам AMOVA1 и AMOVA2 были получены очень близкие структуры генетических отношений между породными выборками, тогда как по AMOVA3 породные выборки имели иную структуру генетических взаимоотношений. В частности, по $F_{ST(W\&C)}$ и Φ_{PT} мерам наибольшие парные GD имели место между выборкой джерсейских быков и всеми остальными; по R_{ST} – между выборкой айрширских быков и прочими породными выборками.

Первоначальные матрицы GD имели очень тесную взаимосвязь с линеаризованными: $R_M \geq 0,995$ ($R_M^2 \geq 99$ %) при $p_{perm} \leq 0,001$. Это указывало на незначительное воздействие линеаризации на отображение структуры генетических отношений между породными выборками. Также высокой была сопряжённость $\text{lin}F_{ST(W\&C)}$ и $\text{lin}\Phi_{PT}$ матриц – 0,994 при $p_{perm} = 0,001$ (рис. 4). Вместе с тем, тесты Мантеля этих матриц с $\text{lin}R_{ST}$ -матрицей показали более низкие, чем по первоначальным, оценки R_M , соответственно, 0,696 и 0,729 при $p_{perm} = 0,005$. Заметное *несходство* парных $\text{lin}F_{ST(W\&C)}$ - и $\text{lin}R_{ST}$ -дистанций можно видеть по разбросу точек на рисунке 4 (справа) при коэффициенте неопределённости 52 %.

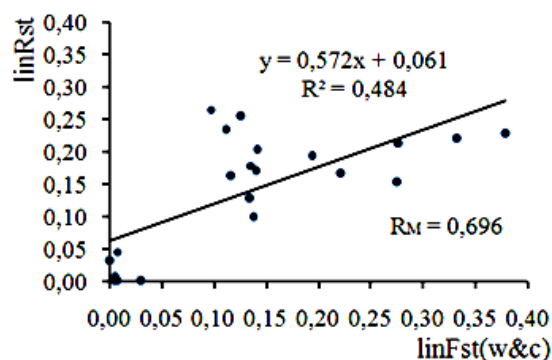
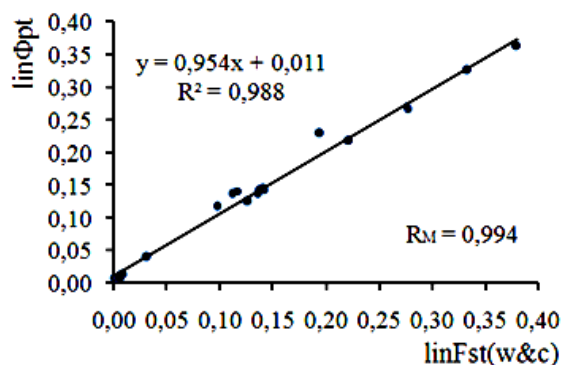


Рис. 4. Тест Мантеля (R_M) для GD-матриц $\text{lin}F_{ST(W\&C)}$, $\text{lin}\Phi_{PT}$ и $\text{lin}R_{ST}$ /

Fig. 4. Mantel test (R_M) for GD-matrices $\text{lin}F_{ST(W\&C)}$, $\text{lin}\Phi_{PT}$, and $\text{lin}R_{ST}$

Корреляция Мантеля матрицы стандартизованных $F'_{ST(W\&C)}$ -дистанций с матрицей первоначальной $F_{ST(W\&C)}$ -дистанций была 0,981

при $p_{perm} = 0,001$. Стандартизация увеличила в разы оценки парных GD, но незначительно повлияла на структуру генетических взаимо-

отношений породных выборок ($R^2_M = 96,2\%$; $1 - R^2_M = 3,8\%$). С матрицей линейаризованных дистанций коэффициент неопределённости был в 2 раза выше – $7,6\%$.

Особый интерес представляла сопряжённость $F'_{ST(W\&C)}$ -матрицы с матрицами GD из работы [22]. R_M с матрицей по Райту-Нею (F_{ST}) была $0,966$, с $G_{ST(NEI)}$ -матрицей – $0,982$, с матрицей несмещённых оценок генетических дистанций Нея (u_{GDN}) – $0,977$ (все с $p_{perm} = 0,001$). Соответствующие R^2_M были $93,3$, $96,4$, $95,5\%$. Предельно большие R_M были получены с матрицей коэффициентов «генной дифференциации» Нея-Хедрика ($G''_{ST(HED)}$) – $1,0$ и с матрицей коэффициентов «истинной аллельной дифференциации» Джоста (D_{EST}) – $0,999$ (обе с $p_{perm} < 0,001$). Три меры с разными концепциями и алгоритмами расчётов: по гетерозиготности ($G''_{ST(HED)}$), по эффективному числу аллелей (D_{EST}) и по AMOVA ($F'_{ST(W\&C)}$) выявили структуры генетических отношений между породными выборками со 100% схожестью (заметим, корреляция Мантеля между $G''_{ST(HED)}$ и D_{EST} матрицами была также очень высокой – $0,998$ при $p_{perm} = 0,002$). В целом, тесты Мантеля показали достаточно высокую сопряжённость матриц парных GD, полученных разными методами и вариантами AMOVA (кроме R_{ST}).

В работе [38] исследовали GD среди 9 линий балканского низинного скота (Balkan Buša / Busha) и 12 европейских коммерческих пород. Были использованы 105 STR-локусов и две меры дифференциации: F_{ST} и D_{EST} . Усреднённые по всем популяциям оценки составили $0,06$ и $0,093$ соответственно, по балканским Буша – $0,016$ и $0,021$, по северо-западным европейским породам – $0,085$ и $0,124$. D_{EST} -оценки были выше F_{ST} -оценок в $1,3$ - $1,6$ раза. Между представленными в статье матрицами попарных GD корреляция Мантеля (рассчитанная нами) составила $0,984$ при $p_{perm} = 0,01$.

Иные результаты были получены в работе [39]. Авторы изучали 5 исторических и 3 современных российских популяций крупного рогатого скота по девяти локусам STR-маркеров с оценкой парных GD мерами F_{ST} и D_{EST} . Было сделано заключение, что «...both pairwise

Jost's D and F_{ST} values in most cases were similar (Table 3)». Но данные в статье матрицы парных GD свидетельствовали об обратном. В частности, из 28 сравнений в 15 случаях оценки F_{ST} превышали D_{EST} ; из них в 10 случаях – более чем в 2 раза (имелись различия в 8, 11, 34 и более раз). Рассчитанная нами корреляция Мантеля составила $0,508$, $R^2_M = 0,26$, а коэффициент неопределённости – $0,74$, что свидетельствовало о малом соответствии F_{ST} - и D_{EST} -матриц (следовательно, и структур генетических взаимоотношений между породами). Особенно настораживает то, что F_{ST} -оценки превышали D_{EST} -оценки. По данным литературы в большинстве случаев ситуация, как правило, обратная (см., например, [38]). При небольших значениях внутривидовой гетерозиготности ($< 0,5$) иногда F_{ST} может быть больше D_{EST} [11]. Но анализируемые «популяции» имели несмещённые оценки гетерозиготности в диапазоне $0,644...0,852$. Также озадачивают фактически нулевые GD между великорусским* и голландским скотом** ($F_{ST} = 0,006$, $D_{EST} = -0,008$), историческим и современным холмогорским скотом ($F_{ST} = 0,018$, $D_{EST} = 0,016$). Между великорусским и современным голштинским скотом GD были меньше ($F_{ST} = 0,079$, $D_{EST} = 0,016$), чем между холмогорским и ярославским ($F_{ST} = 0,174$, $D_{EST} = 0,071$). Отметим, статистики разнообразия характеризуют не только уровень генетических различий [двух] популяций, но и степень генетического сходства животных этих популяций.

В другой российской работе [40] были даны матрицы парных GD между 11 породами свиней по 10 STR-локусам. В большинстве случаев (52 из 55) D_{EST} -дистанции превышали F_{ST} (оценки D_{EST} были выше в $1,3$ раза). Рассчитанная нами корреляция Мантеля составила $0,83$ ($R^2_M = 0,69$). Коэффициент неопределённости, равный $0,31$, указывал на наличие заметных отличий в структурах генетических взаимоотношений между породами при использовании двух мер. Это можно видеть и при сравнении приводимых в [40] филогенетических дендрограмм (авторы, к сожалению, не указали «правильную» дендрограмму).

* В отчете академика А. Ф. Миддендорфа за 1884 год коровы великорусской породы характеризовались как «тасканки» и «горемычки» – мелкие, узкие, беднокостные, размножаемые, в основном, для производства навоза (Исследование современного состояния скотоводства в России. Рогатый скот. В. Отчет А. Миддендорфа. М., 1884. Вып. 1. С. 1-50).

** Корицей российской зоотехнической науки проф. П. Н. Кулешов относил голландскую породу к «древним породам, послужившим к улучшению животноводства до 1700-1750 гг.». В частности, он писал: «В отношении крупного рогатого скота можно сказать, что существовала одна единственная голландская порода, выделившаяся из общей массы скота и служившая к улучшению скотоводства во всей Европе; от ней же произошла и наша холмогорская порода» (Кулешов П. Н. Породы домашних животных в исторической последовательности их развития (1926 г.). В кн.: Теоретические работы по племенному животноводству. М.: ОГИЗ «СЕЛЬХОЗГИЗ», 1947. С. 209-221).

Ординация быков на 2D диаграмме. Ординация – это упорядочение объектов вдоль некоторых осей методами многомерной статистики (РСА, РСоА и т.п.) с целью установления связи, классификации и проекции взаиморасположения на плоскости или в пространстве. Диаграмма на рисунке 5 представляет собой результат применения *анализа главных координат* (Principal Coordinate Analysis, РСоА) к STR-данным. В процессе РСоА исходная матрица размером 84×84 трансформировалась в более простую матрицу 84×2 (где 2 – число размерностей), содержащую координаты точек для изображения (смысл каждой из координат не имеет значения; главным является взаимное расположение точек-быков). Диаграмма визуализирует STR-вариацию среди быков в общей выборке и существующие в ней структуры. Взаимоотношения 84 быков отображены таким образом,

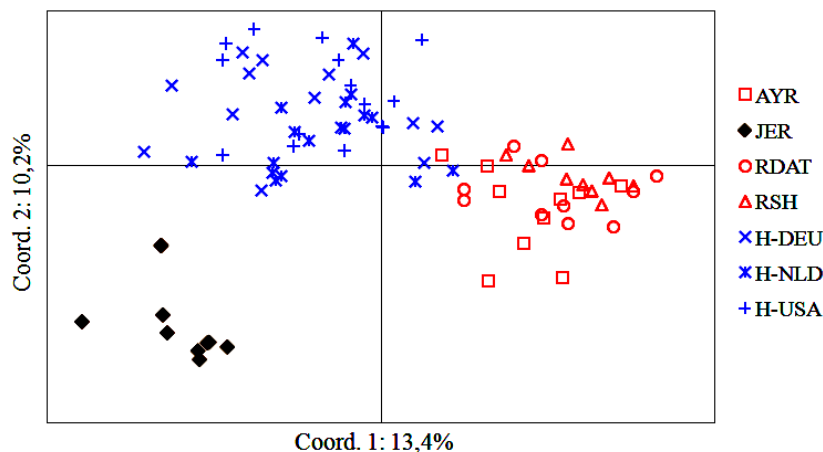


Рис. 5. Ординация быков породных выборок на плоскости первой и второй главных координат /
Fig. 5. Ordination of the bulls of the breed samples on the plane of the first and second principal coordinates

Несмотря на 100-23,6≈76 % потерю информации, в исследуемых данных выделились три относительно компактные структуры (кластера), что указывает на наличие генетически отличающихся *групп* животных. Координата 1 отделила голштинские «экотипы» от выборок «красных» пород; координата 2 – джерсейских быков от прочих. В верхнем левом углу расположились производители голштинских «экотипов», справа – быки «красных» пород, в нижнем левом углу – более сегрегированная (отличающаяся по генотипам) группа животных джерсейской породы.

Первые две группы (кластера) перекрывались незначительно. Однако внутри этих групп имело место высокая STR изменчивость и *смешение* животных разных породных выборок. Это характеризует слабую генетическую дифференциацию (большое генетическое сходство), которая, возможно, есть следствие

что чем больше GD между животными в исходной матрице, тем дальше они находятся друг от друга на диаграмме. Числа при Coord.1 и Coord.2 указывают на проценты общей дисперсии, которые приходятся на каждую координату. Так, первая главная координата описывала 13,4 % общей дисперсии в структуре данных. Вторая – 10,2 % (третья координата – 6 %, не рассматривается). Суммарный процент дисперсии – это показатель того, насколько полно главные координаты представляют генетическую изменчивость среди быков-производителей (*информативность* РСоА). Отметим, РСоА считается успешным, если первые 2-3 координаты выделяют (учитывают, объясняют) не менее 80 % общей дисперсии. В нашем случае на две первые координаты суммарно приходилось 23,6 % общей дисперсии (около 30 % на три координаты).

достаточно сильного потока генов между породами.

Если маркировать двух джерсейских быков как «выбросы», то разброс остальных животных этой группы указывал на их большую однородность. Гомогенность и отдалённость от двух кластеров, по всей вероятности, есть следствие продолжительной генетической изоляции породы на острове Джерси (с 1763 по 2008 гг., но с возможностью экспорта животных в разные страны [41]).

Ординация выборок на 2D диаграмме. На рисунке 6 представлены проекции генетических отношений *семи породных выборок* на 2D плоскости, полученных по разным матрицам парных GD. Первые три проекции – на основе матриц $F_{ST(W\&C)}$, $\ln F_{ST(W\&C)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$ -дистанций из AMOVA1, четвертая – по R_{ST} -матрице из AMOVA3 (результаты по AMOVA2 были сходны с таковыми по AMOVA1).

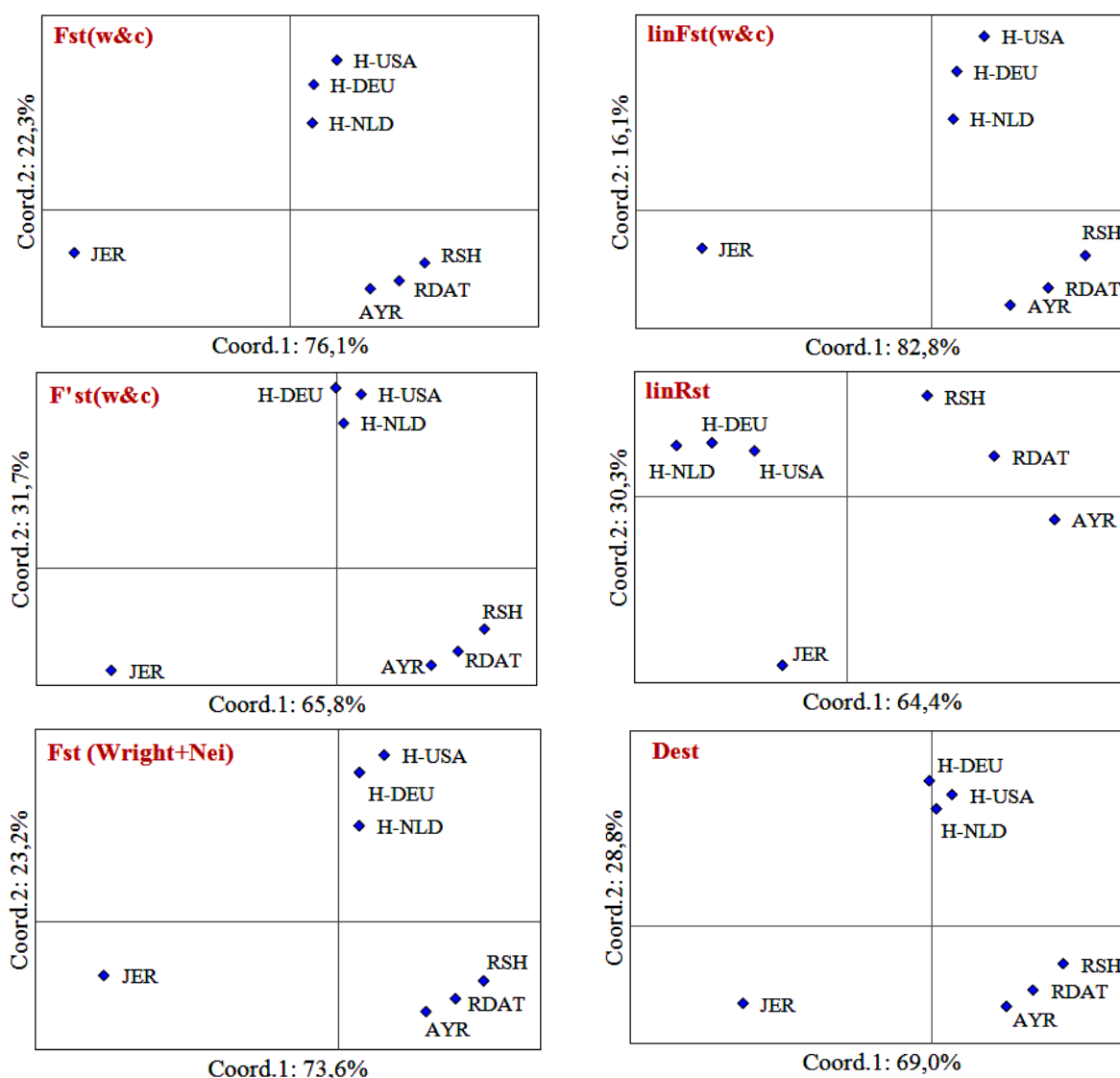


Рис. 6. PCoA по разным матрицам парных генетических дистанций /
Fig. 6. PCoA for different matrices of paired genetic distances

На первых трёх проекциях местоположение породных выборок относительно друг друга было очень схожим. Чётко выделялись кластер «красных» пород, кластер голштинских «экотипов» и ветка джерсейской породы. Две первые координаты суммарно объясняли 97,5-98,9 % общей дисперсии (максимальная потеря информации 2,5 %).

РсoA-проекция linR_{ST}-матрицы (четвёртая) отличалась от предыдущих, но сохранились как кластеры, так и их локализация относительно друг друга. Корреляция Прокруста* с проекцией linF_{ST(w&c)}-матрицы составила 0,846 – даже несколько выше, чем корреляция Мантеля соответствующих матриц ($R_M = 0,696$).

* Использован *Прокрустов анализ* (Procrustes analysis) – статистический метод, который сравнивает наборы [многомерных] форм, пытаясь преобразовать их в состояние суперналожения. В программе PROTEST это достигается путем минимизации сумм квадратов расстояний между соответствующими точками в каждой форме посредством перемещения, отражения, вращения и масштабирования их координатных матриц [42, 43].

Статистическая значимость корреляции Прокруста была $p_{perm} = 0,01$: две проекции показали относительно высокую неслучайную *конкордантность* (concordance), т.е. согласованность, соответствие. Суммарная по двум координатам дисперсия также была высокой – 94,7 % (потеря информации 5,3 %).

На рисунке 6 для сравнения представлены также две диаграммы из работы [22], полученных на том же самом материале, но при использовании иных статистик. В частности, пятая диаграмма – это проекция матрицы парных GD по Райту-Нею ($F_{ST(Wright-Nei)} = G_{ST}$; на базе ожидаемой гетерозиготности).

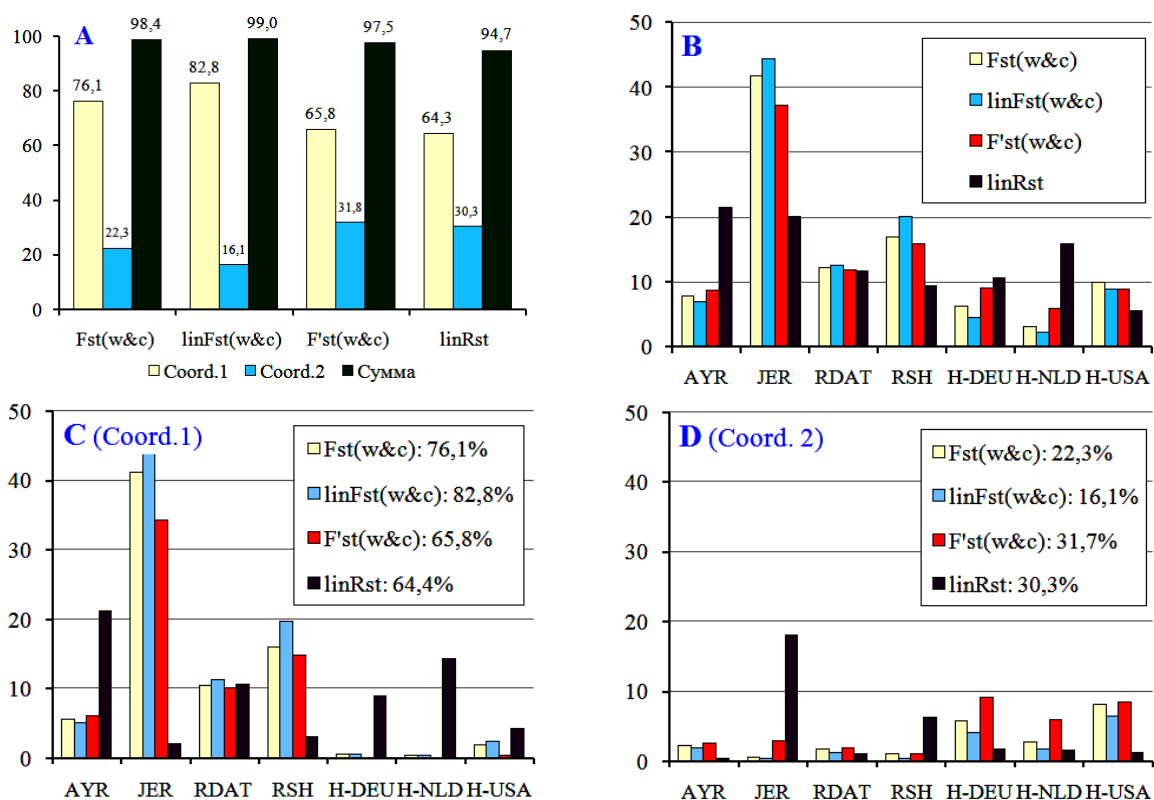


Рис. 7. PCoA-декомпозиция общей дисперсии по разным GD-матрицам (%): А – дисперсии по 1, 2 и (1+2) координатам; В – дисперсия по породам (общая); С – дисперсия по породам для 1-ой координаты; D – дисперсия по породам для 2-ой координаты. Цифры в легенде – % учтённой дисперсии в зависимости от метода /

Fig. 7. PCoA-decomposition of the total variance for different GD matrices (%): A – variance for 1, 2 and (1+2) coordinates; B – variance for breeds (total); C – variance for breeds for the 1st coordinate; D – variance for breeds for the 2nd coordinate. Numbers in the legend – % of the calculated variance, depending on the method

Шестая диаграмма – это проекция матрицы GD по Джосту (D_{EST}), в основе расчёта которой вариация эффективного числа аллелей. Как и в первых четырёх диаграммах, информативность (состоятельность) PCoA была высокой (96,8 и 97,7 %). Также имело место хорошее соответствие ординаций с таковыми в трёх первых диаграммах.

Рисунок 7 иллюстрирует информативность PCoA и вклады породных выборок в дисперсию 1 и 2 координат при использовании разных мер GD. Coord.1 объясняла 64-83 % общей дисперсии данных (с max по метрике $linF_{ST(W\&C)}$; рис. 7A), Coord.2 – 16-32 % (с max по метрике $F'_{ST(W\&C)}$). Наибольший вклад в общую дисперсию F-матриц GD вносила JER-выборка – 37-44 % (рис. 7B). Затем следовали выборки RSH – 16-20 % и RDAT – 12-13 %. Вклад AYR-выборки и голштинских «экотипов» был на уровне 2-10 %. По $linR_{ST}$ -матрице вклады породных выборок были более выравненными: AYR и JER – 21 и 20 %, H-NLD, RDAT и H-DEU – 11-16 %, RSH и H-USA – 6 и 9 %. Вклады породных выборок в дисперсию Coord.1 были, примерно, пропорциональны предыду-

щим (рис. 7C). В дисперсию Coord.2 (рис. 7D) по F-матрицам наибольшие вклады вносили голштинские «экотипы» (2-9 %), в то время как по $linR_{ST}$ -матрице – JER-выборка (18 %).

Двухфакторный AMOVA. Ординация породных выборок по всем матрицам GD была в общем сходной: выделились кластер «красных» пород, кластер голштинских «экотипов» и ветка джерсейской породы. Кластеры (определим их как «регионы») включали по три породных выборки. Это позволило провести двухфакторный AMOVA с разложением STR-изменчивости на межрегиональный и межпородный в пределах регионов компоненты. Результаты обобщены в таблице 7.

Суммарные оценки дифференциации были на уровне полученных ранее величин: до стандартизации 0,108 при $p_{perm} = 0,001$, после стандартизации – 0,384 (по 7 породным выборкам $F'_{ST(W\&C)} = 0,351$). Доминировало региональное различие, которое составляло около 90 % от общей дифференциации. В пределах регионов дифференциация породных выборок была незначительной и статистически незначимой ($p_{perm} = 0,063$).

Таблица 7 – Результаты 2-х факторного AMOVA1 по 6 породным выборкам (без JER-выборки) /
Table 7 – Results of 2-factor AMOVA1 for 6 breed samples (without JER-sample)

Статистика / Statistics	Est.	p_{perm}
До стандартизации / Prior to the standardization of		
F_{RT}	0,101	0,001
F_{SR}	0,008	0,063
$F_{ST} = F_{RT} + F_{SR}$	0,108	0,001
После стандартизации / After standardization		
F'_{RT}	0,357	-
F'_{SR}	0,027	-
$F'_{ST} = F'_{RT} + F'_{SR}$	0,384	-

Примечания: F_{RT} – дифференциация регионов; F_{SR} – дифференциация породных выборок внутри регионов /
Notes: F_{RT} – differentiation of regions; F_{SR} – differentiation of breed samples within regions.

Также были проведены однофакторные анализы по каждому «региону». AMOVA1 по RED-региону (AYR, RDAT, RSH) показал статистически незначимую оценку дифференциации породных выборок ($F_{ST(W\&C)} = 0,005$ при $p_{perm} = 0,289$; $F'_{ST(W\&C)} = 0,016$). При анализе выборок HOL-региона (H-DEU, H-NLD, H-USA) оценка дифференциации была хотя и статистически значимой, но небольшой ($F_{ST(W\&C)} = 0,016$ при $p_{perm} = 0,015$; $F'_{ST(W\&C)} = 0,058$).

Чем объясняются полученные результаты? На протяжении более 150 лет селекционеры США целенаправленно работали над молочным типом и молочностью голштинско-фризского скота. В Северной Европе большее внимание уделялось жирномолочности коров и молочно-мясному типу скота. Разные цели селекции могли стать причиной «диверсифицированного отбора» – усиления различий в аллельных профилях европейских и голштинской популяциях. Подтверждение находим в полногеномных исследованиях (SNP-маркеры) американских учёных. Так, в работе [41] было показано, что между голштинской породой США (интенсивная система производства) и джерсейской породой острова Джерси (экстенсивная система производства) GD была на уровне 0,15. Это достаточно высокое значение для SNP-маркеров. Например, между голштинской и якутской породами GD оценивалась в 0,19 [44]. В работе [45] одна группа животных голштинской породы 1964 года представляла образцы неотобранных геномов 1950-х годов (контроль). Другая группа состояла из современных голштинских коров, которая представляла

образцы геномов после 40 лет селекции. Анализ главных компонент выявил временные сдвиги «геномного ландшафта» породы. Было показано, что проводимая с 1964 года практическая селекция затронула около 40 % генома. В частности, привела к изменениям частот аллелей по всему геному и связанные с ними изменения гетерозиготности, частоты гаплотипов и локальные изменения частот, которые создавали «пики», «холмы» и «долины» частотных различий между отселектированной и контрольной группами.

С другой стороны, в Европе имели место процессы поглощения и конфлюэнции (слияния) генофондов разных пород. Во-первых, проводимая с 1970-х годов голштинизация немецкого и голландского чёрно-пёстрого скота привела к формированию относительно гомогенных «экотипов», высококровных по голштинской породе. Во-вторых, обмен генетическим материалом между айрширской, красной датской и красно-пёстрой шведской породами способствовал получению потомства различной кровности, смешиванию генофондов и, как следствие, объединению популяций с последующим разведением скота по единой программе селекции VikingRed (<http://www.vikinggenetics.com/>). Известно, что чем ближе в родословных общице предки разных пород, тем животные в большем родстве друг другу. В результате регулярного обмена генетическим материалом различия аллельных профилей между породами (популяциями) стираются и оценки генетической дифференциации (дистанции) приближаются к нулю. В качестве примера можно привести незначительную генетическую дифференциацию (0,006-0,016) популяций гернзейской породы США, Канады, Великобритании и острова Гернси (Guernsey) вследствие международного интенсивного обмена генетическим материалом [46].

Можно полагать, что рассмотренные процессы и явились причиной (или одной из причин) высокого вклада «региональной» компоненты (90 %) в суммарную STR-дифференциацию исследуемых породных выборок быков-производителей.

Моделирование. При нулевой оценке генетической дифференциации субпопуляций или величине, не имеющей практического значения, эти субпопуляции можно считать частями одной популяции. Относительно сохранения генофонда местных пород, то, возможно, целесообразно не поддерживать

много разных малочисленных пород одного вида, а объединить породы со слабой генетической дифференциацией (высоким генетическим сходством). По двухфакторному AMOVA была получена статистически не значимая оценка STR-дифференциации породных выборок в пределах регионов, т.е. региональные выборки представляли генофонды *двух* популяций. Финская Ассоциация Племенного Скотоводства (Faba) уже в 2010 году *де-факто* объединила AYR, RDAT и RSH породы, присоединив их к международной племенной организации VikingGenetics. Также голштинская порода считается транснациональной, в которой немецкая и нидерландская субпопуляции являются её составными частями. Фиксация *постфактум* генетических взаимоотношений, сформировавшихся при практическом разведении и селекции рассматриваемых пород, – это сопутствующий результат наших исследований. Анализируемые породные выборки представляли интерес не только как объекты для сравнительных исследований методов оценки STR-дифференциации популяций. Они интересны и как *модельные* популяции для исследования разных сценариев сохранения генофонда исчезающих пород.

Допустим, что имеем не семь реальных породных выборок, а семь гипотетических местных малочисленных пород с полученной выше структурой генетических взаимоотношений. Так как генетическое сходство AYR, RDAT и RSH пород очень высокое, то их можно объединить и сформировать новую RED-породу. Аналогично и по H-DEU, H-NLD и H-USA породам – сформировать HOL-породу. Предположим, что мы решились на такой «породообразовательный процесс». Как он отразится на внутри- и межпородном генетическом разнообразии новой породной структуры (JER, RED, HOL)?

Усреднённое по AYR, RDAT и RSH породам число аллелей на локус (n_a) было 5,1, эффективных аллелей (n_e) – 3,3, ожидаемая гетерозиготность (H_e) – 65,8 %. В «новой»

RED-породе эти показатели составили, соответственно, 6,7, 3,5 и 68,3 %. Усреднённые по H-DEU, H-NLD и H-USA породам показатели были: $n_a = 5,5$, $n_e = 3,8$, $H_e = 70,2$ %. В «новой» HOL-породе они составили, соответственно, 7,0, 4,1 и 72,4 %. Показатели генетического разнообразия RED и HOL пород ожидаемо возрасли: по n_a в среднем на 29 %, n_e – на 7 %, H_e – на 3,5 % (заметим, объединение увеличило и численность «новых» популяций, что немаловажно).

Сводные оценки генетической дифференциации гипотетических местных пород (семи до объединения) были: по $F_{ST(W\&C)}$ – 0,108, $F'_{ST(W\&C)}$ – 0,351, D_{EST} – 0,292 с 95 % CI 0,244...0,339 (D_{EST} из работы [22]). После объединения (3 породы) оценки составили, соответственно, 0,140, 0,453 и 0,427 с 95 % CI 0,348...0,493. Объединение пород с высоким генетическим сходством увеличило STR-дифференциацию новой породной структуры, именно: оценки $F_{ST(W\&C)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$ повысились на 29 %, D_{EST} – на 46 %. Здесь следует отметить, что статистики $F_{ST(W\&C)}$ и $F'_{ST(W\&C)}$ относятся к семейству «мер фиксации», т. к. они фактически измеряют близость аллелей к их фиксации в каждой субпопуляции или степень завершения процесса фиксации (аллель достиг частоты 1), а не абсолютную дифференциацию. D_{EST} -статистика относится ко второму семейству мер – «аллельной дифференциации», когда дифференциация – это отсутствие какой-либо общей аллели(-ей) в субпопуляциях. Эта статистика равна 1, когда аллелофонд каждой субпопуляции состоит полностью из частных аллелей, и равна 0, когда все субпопуляции имеют одни и те же аллели с одинаковыми частотами [4]. Исходя из 95 % CI по D_{EST} можно полагать, что общих аллелей в аллелофондах трёх «новых» пород 50-65 % (до объединения их было 66-76 %). Парные по породам GD были (в круглых скобках – усреднённые оценки из анализов по семи породным выборкам, в квадратных скобках – % снижения после объединения):

	$F_{ST(W\&C)}$	$F'_{ST(W\&C)}$	D_{EST}
JER – RED	0,234 (0,247) [-5,3]	0,652 (0,661) [-1,4]	0,547 (0,551) [-0,7]
JER – HOL	0,171 (0,187) [-8,6]	0,513 (0,528) [-2,8]	0,413 (0,420) [-1,7]
RED – HOL	0,105 (0,113) [-7,1]	0,366 (0,385) [-4,9]	0,292 (0,307) [-4,9]

Наибольшие STR-дистанции были между JER и RED породами, в 2 раза короче (в среднем) – между породой RED и HOL. В противоположность сводным оценкам диф-

ференциации, имело место небольшое сокращение парных GD: в среднем на 7 % по $F_{ST(W\&C)}$ оценщику, на 3 % – по $F'_{ST(W\&C)}$ и на 2,4 % – по D_{EST} . Между JER и RED породами

STR-дистанции сократились в среднем на 2,5 %, между JER и HOL – на 4,4 %, RED и HOL – на 5,6 %.

Изменился и вклад пород в STR-разнообразие. Так, до объединения вклад JER породы (выборки) по PCoA оценивался в 38,1 %, суммарный вклад AYR, RDAT и RSH пород был 37,5%, а H-DEU, H-NLD и H-USA пород – 24,4 %. После объединения вклад JER-породы составил 43,5 % (+5,4 процентных пункта, п.п.), вклад RED-породы – 36,3 % (-1,2 п.п.) и вклад HOL-породы 20,2 % (-4,2 п.п.).

Заключение. Три подхода к дисперсионному анализу микросателлитной изменчивости (AMOVA): по матрице дистанций между аллелями (расчёт $F_{ST(W\&C)}$ -статистики), по матрице дистанций между генотипами (F_{PT}) и матрице различий в размерах аллелей (R_{ST}), по всей вероятности, приводят к достаточно близким сводным оценкам генетической дифференциации пород. При этом разные компьютерные программы обеспечивают получение схожих AMOVA-оценок. Оценки по AMOVA сопоставимы с G-оценками Нея (Nei) на базе ожидаемой гетерозиготности. Если число локусов для анализа небольшое, то R_{ST} -оценки

могут быть смещёнными. Статистики $F_{ST(W\&C)}$ и F_{PT} подвержены влиянию уровня внутривидовой гетерозиготности и нуждаются в стандартизации, которая может значительно повысить первоначальные оценки. Стандартизированные оценки хорошо согласуются с оценками, рассчитанными методами Джоста (Jost) и Морисита-Хорна (Morisita-Horn), на которые влияния уровня внутривидовой гетерозиготности нет. Сопряжённость матриц парных по породам генетических дистанций, рассчитанных с использованием разных мер, высокая. Их PCoA-проекция на 2D плоскости сопоставимы: разные подходы и методы приводят к сходным структурам пространственных взаимоотношений между породами. Двухфакторный AMOVA позволяет количественно оценить как генетические различия между регионами с разными методами разведения и/или селекции пород, так и генетические различия между породами в пределах регионов. Объединение [вытесняемых] пород с большим генетическим сходством (малыми генетическими дистанциями) может способствовать увеличению аллельного разнообразия «новых» пород и усилению их дифференциации.

References

1. Wright S. Isolation by distance. *Genetics*. 1943;28(2):114-138. URL: <https://www.genetics.org/content/28/2/114>
2. Wright S. The genetical structure of populations. *Ann. Eugen.* 1951;15(1):323-354. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1949.tb02451.x>
3. Кузнецов В. М. F-статистики Райта: оценка и интерпретация. Проблемы биологии продуктивных животных. 2014;(4):80-104. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22833217>
4. Kuznetsov V. M. *F-statistiki Rayta: otsenka i interpretatsiya*. [Wright's F-statistics: estimation and interpretation]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*. 2014;(4):80-104. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22833217>
5. 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>
6. Balloux F., Lugon-Moulin N. The estimation of population differentiation with microsatellite markers. *Mol. Ecol.* 2002;11(2):155-165. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0962-1083.2001.01436.x>
7. Wright S. Evolution and the genetics of populations. Vol. 4. Variability within and among natural populations. Univ. Chicago, 1978. 590 p.
8. Nei M., Chesser R. K. Estimation of fixation indexes and gene diversities. *Ann. Hum. Genet.* 1983;47(3):253-259. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1983.tb00993.x>
9. Кузнецов В. М. Методы Нея для анализа генетических различий между популяциями. Проблемы биологии продуктивных животных. 2020;(1):91-110. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43811467>
10. Kuznetsov V. M. *Metody Neia dlya analiza geneticheskikh razlichiy mezhd 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.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43811467>
11. Hedrick P. W. A standardized genetic differentiation measure. *Evolution*. 2005;59(8):1633-1638. URL: <https://www.jstor.org/stable/3449070>
12. Meirmans P. G., Hedrick P. W. Assessing population structure: FST and related measures. *Mol. Ecol. Res.* 2011;11(1):5-18. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02927.x>
13. 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>

13. Whitlock M. C. G_{ST} and D do not replace F_{ST} . *Mol. Ecol.* 2011;20(6):1083-1091.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04996.x>
14. Putman A. I., Carbone I. Challenges in analysis and interpretation of microsatellite data for population genetic studies. *Ecol. Evol.* 2014;4(22):4399-4428. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1305>
15. Cockerham C. C. Variance of gene frequencies. *Evolution.* 1969;23(1):72-84.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1969.tb03496.x>
16. Cockerham C. C. Analyses of gene frequencies. *Genetics.* 1973;74(4):679-700.
URL: <https://www.genetics.org/content/74/4/679>
17. Weir B. S., Cockerham C. C. Estimating F -statistics for the analysis of population structure. *Evolution.* 1984;38(6):1358-1310. DOI: <https://doi.org/10.2307/2408641>
18. Вейр Б. Анализ генетических данных. М.: Мир, 1995. 400 с.
Very B. *Analiz geneticheskikh dannykh*. [Genetic data analysis]. Moscow: Mir, 1995. 400 p.
19. Excoffier L., Smouse P. E., Quattro J. M. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics.* 1992;131(2):479-491.
URL: <https://www.genetics.org/content/131/2/479>
20. Michdakis Y., Excoffier L. A Generic estimation of population subdivision using distances between alleles with special reference for microsatellite loci. *Genetics.* 1996;142(3):1061-1064.
URL: <https://www.genetics.org/content/genetics/142/3/1061.full.pdf>
21. Slatkin M. A. Measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics.* 1995;139(1):457-462. URL: <https://www.genetics.org/content/139/1/457>
22. 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 popu-lyatsiy po mikrosatellitnym 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>
23. Nei M. Genetic distance between populations. *Amer. Natur.* 1972;106(949):283-292.
DOI: <https://doi.org/10.1086/282771>
24. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics.* 1978;89(3):583-590. URL: <https://www.genetics.org/content/89/3/583>
25. Peakall R., Smouse P. GenAlEx Tutorial 1: Introduction to population genetic analysis. Australian National University. 2012. 57 p. URL: <https://mafiadoc.com/genalex-tutorial-1-introduction-to-population-genetic-597ef8441723dd6ae3e07272.html>
26. 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>
27. Meirmans P. G. Using the AMOVA framework to estimate a standardized genetic differentiation measure. *Evolution.* 2006;60(11):2399-2402. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2006.tb01874.x>
28. Excoffier L., Laval G., Schneider S. Arlequin ver. 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online.* 2005;1:47-50.
URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2658868/>
29. Raymond M., Rousset F. GENEPOP (Version 1.2): Population genetics software for exact tests and ecumenicism. *J. Hered.* 1995;86(3):248-249. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a111573>
30. Rousset F. Genepop'007: a complete reimplementation of the Genepop software for Windows and Linux. *Mol. Ecol. Res.* 2008;8(1):103-106. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01931.x>
31. Goodman S. J. RST CALC: A collection of computer programs for calculating unbiased estimates of genetic differentiation and determining their significance for microsatellite data. *Mol. Ecol.* 1997;6(9):881-885.
DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.1997.00260.x>
32. Chao A., Ma K. H., Hsieh T. C., Chiu C. H. Online program SpadeR (Species-richness Prediction And Diversity Estimation in R). 2016. 88 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20744.62722>
33. STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual. By StatPoint Technologies, Inc. 2010. 297 p.
34. Balloux F., Goudet J. Statistical properties of population differentiation estimators under stepwise mutation in a finite island model. *Mol. Ecol.* 2002;11(4):771-783. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2002.01474.x>
35. Excoffier L., Hamilton G. Comment on «Genetic Structure of Human Populations». *Science.* 2003;300(5627):1877. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1083411>
36. Nei M. Definition and estimation of fixation indices. *Evolution.* 1986;40(3):643-645.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1986.tb00516.x>
37. Hedrick P. W. Perspective: Highly variable loci and their interpretation in evolution and conservation. *Evolution.* 1999;53(2):313-318. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1999.tb03767.x>

38. Medugorac I., Veit-Kensch C. E., Ramljak J., Brka M., Marković B., Stojanović S., Bytyqi H., Kochoski L., Kume K., Grünenfelder H.-P., Bennewitz J., Förster M. Conservation priorities of genetic diversity in domesticated metapopulations: a study in taurine cattle breeds. *Ecol. Evol.* 2011;1(3):408-420. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.39>
39. 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 Historical and Modern Populations of Russian Cattle Breeds Revealed by Microsatellite Analysis. *Genes.* 2020;11(940):1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11080940>
40. Харзинова В. Р., Зиновьева Н. А. Паттерн генетического разнообразия у локальных и коммерческих пород свиней на основе анализа микросателлитов. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2020;24(7):747-754. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.669>
- Kharzinova V. R., Zinov'eva N. A. *Pattern geneticheskogo raznoobraziya u lokal'nykh i kommercheskikh porod sviney na osnove analiza mikrosatellitov.* [The pattern of genetic diversity of different breeds of pigs based on microsatellite analysis]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;24(7):747-754. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.669>
41. Huson H. J., Sonstegard T. S., Godfrey J., Hambrook D., Wolfe C., Wiggans G., Blackburn H., VanTassell C. P. A Genetic Investigation of Island Jersey Cattle, the Foundation of the Jersey Breed: Comparing Population Structure and Selection to Guernsey, Holstein, and United States Jersey Cattle. *Front. Genet.* 2020;11(366):1-17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00366>
42. Peres-Neto P. R., Jackson D. A. How well do multivariate data sets match? The advantages of a Procrustean superimposition approach over the Mantel test. *Oecologia.* 2001;129(2):169-178. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420100720>
43. Dray S., Chessel D., Thioulouse J. Procrustean co-inertia analysis for the linking of multivariate datasets. *Écoscience.* 2003;10(1):110-119. DOI: <https://doi.org/10.1080/11956860.2003.11682757>
44. Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Gladyr E. A., Traspov A. A., Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Reyer H., Wimmers K., Barbato M., Paronyan I. A., Plemyashov K. V., Sölkner J., Popov R. G., Brem G., Zinovieva N. A. Whole-genome SNP analysis elucidates the genetic structure of Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds. *Genet. Sel. Evol.* 2018;50(37):1-13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0408-8>
45. Ma L., Sonstegard T. S., Cole J. B., Van Tassell C. P., Wiggans G. R., Crooker B. A., Tan C., Praka-penka D., Liu G., Da Y. Genome changes due to artificial selection in U.S. Holstein cattle. *BMC Genomics.* 2019;20(128):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5459-x>
46. Cooper T. A., Eaglen S. A. E., Wiggans G. R., Jenko J., Huson H. J., Morrice D. R., Bichard M., de L. Luff W. G., Woolliams J. A. Genomic evaluation, breed identification, and population structure of Guernsey cattle in North America, Great Britain, and the Isle of Guernsey. *J. Dairy Sci.* 2016;99(7):5508-5515. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10445>

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

✉ Vasily 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



Применение трутнёвого расплода в рациональном питании и апитерапии

© 2021. Д. В. Митрофанов✉, Н. В. Будникова, А. З. Брандорф

ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства», г. Рыбное, Российская Федерация

Трутнёвый расплод представляет собой совокупность развивающихся особей (личинок, предкуколок и куколок) трутней – мужских особей пчелиной семьи. Трутнёвый расплод используется для выработки гомогената, который стабилизируют тем или иным способом для достижения оптимальной сохранности биологически активных веществ. Интерес к трутневому расплоду как богатому источнику макро- и микронутриентов неуклонно возрастает. Целью настоящего обзора является обобщение накопленных сведений о применении трутневого расплода в рациональном питании и апитерапии. Рассмотрены показатели качества и безопасности трутневого расплода, приводятся требования нормативной документации к продуктам на его основе. Показана необходимость жёсткого соблюдения условий хранения гомогената трутнёвого расплода, при нарушении которых происходит быстрая порча гомогената. Это обуславливает необходимость стабилизации трутневого расплода, что позволяет сохранить его свойства при меньших требованиях к условиям хранения. Приведены группы нутриентов, входящих в состав трутневого расплода и обуславливающих его биологическую активность и направления применения. Среди них липиды, в том числе фосфолипиды и уникальные деценовые кислоты, белки, пептиды и аминокислоты, вещества, содержащие сульфидильные группы, флавоноидные и другие фенольные соединения, углеводы, стероидные вещества, среди которых гормоны и гормоноподобные соединения, минеральные элементы. Описаны продукты на основе трутнёвого расплода и биологические эффекты от их использования: актопротекторный, анаболический, иммуномодулирующий, эндокринотропный, нейротропный, нутритивный и косметический. Проанализированные данные указывают на высокую актуальность дальнейшего внедрения препаратов трутневого расплода в нутрициологическую и апитерапевтическую практику, что послужит инструментом коррекции рациона современного человека, страдающего от болезней цивилизации, во многом связанных с нарушением соотношения и количества нутриентов в рационе.

Ключевые слова: нутрициология, гомогенат, стабилизация, нетрадиционная пища

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства» (тема №0642-2018-0009).

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Митрофанов Д. В., Будникова Н. В., Брандорф А. З. Применение трутнёвого расплода в рациональном питании и апитерапии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):188-203.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.188-203>

Поступила: 11.02.2021

Принята к публикации: 18.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Application of drone brood in rational nutrition and apitherapy

© 2021. Dmitriy V. Mitrofanov✉, Natalya V. Budnikova, Anna Z. Brandorf

Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoe, Russian Federation

Drone brood is a collection of developing individuals (larvae, prepupae and pupae) of drones - males of a bee colony. Drone brood is used to produce a homogenate, which is stabilized in one way or another to achieve optimal preservation of biologically active substances. Interest in drone brood as a rich source of macro- and micronutrients is steadily increasing. The purpose of this review is to summarize the collected data on the use of drone brood in rational nutrition and apitherapy. The indicators of the quality and safety of drone brood are reviewed, the requirements of regulatory documents for products based on it are given. The necessity of strict adherence to the storage conditions of the drone brood homogenate is shown, in case of violation of which there is a rapid deterioration of the homogenate. This necessitates stabilization of the drone brood, which makes it possible to preserve its properties with lower requirements for storage conditions. The groups of nutrients that make up the drone brood and determine its biological activity and directions of application are given. Among them are lipids, including phospholipids and unique decenoic acids, proteins, peptides and amino acids, substances containing sulfhydryl groups, flavonoid and other phenolic compounds, carbohydrates, steroid substances, including hormones and hormone-like compounds, mineral elements. Products based on drone brood and biological effects of their use are described: actoprotective, anabolic, immunomodulatory, endocrinotropic, neurotropic, nutritional and cosmetic. The analyzed data indicate the high relevance of the further introduction of drone brood preparations into nutritional and apitherapeutic practice, which will serve as a tool for correcting the diet of a modern person suffering from a disease of civilization, largely associated with a violation of the ratio and amount of nutrients in the diet.

Keywords: nutriology, homogenate, stabilization, unconventional food

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Beekeeping (theme No. 0642-2018-0009).

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: Mitrofanov D. V., Budnikova N. V., Brandorf A. Z. Application of drone brood in rational nutrition and apiterapy. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):188-203. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.188-203>

Received: 11.02.2021

Accepted for publication: 18.03.2021

Published online: 19.04.2021

Трутни – это особи мужского пола. В отличие от пчелы и матки, трутни гаплоидны и развиваются из неоплодотворённых яиц. Трутнёвый расплод характеризуется схожими с маточным молочком физико-химическими свойствами и качественным составом. Содержание протеина, восстанавливающих сахаров, макро- и микроэлементов трутневого расплода и маточного молочка идентично. Однако трутнёвый расплод отличается от маточного молочка по содержанию ненасыщенных кислот (по показателю окисляемости), pH, массовой доли воды. Он уступает по содержанию деценовых кислот, но имеет значительно большие уровни сульфгидрильных групп тестостерона, прогестерона и эстрадиола¹. Также маточное молочко довольно дорогой продукт.

Получение гомогената трутневого расплода экономически выгодно, так как стоимость этой дополнительной продукции пчеловодства превышает затраты на ее производство. Уровень рентабельности при получении гомогената трутневого расплода составляет 10 %. Причем получение трутнёвого расплода позволяет не только увеличивать выход воска в среднем на 18 %, но и оздоравливать пчелиные семьи от варрооза [1].

Цель обзора – обобщить существующую информацию о применении трутнёвого расплода в апитерпии и нутрициологии.

Материал и методы. Для отбора научных статей провели поиск источников по ключевым словам в научных электронных библиотеках eLIBRARY.RU и Cyberleninka, поисковой системе Google Scholar, базе данных биологических и медицинских публикаций PubMed. Дополнительно провели обзор научных журналов по данной тематике. Поиск публикаций осуществляли по следующим ключевым словам: stabilization of drone brood (стабилизация трутнёвого расплода), ways of growing bee brood (способы выращивания расплода пчел), removal of use of drone brood (использование трутнёвого расплода). В комбинации с предыдущими терминами для поиска были использованы следующие ключевые слова: amino acid composition (аминокислотный состав),

adsorbent (адсорбент), biological properties (биологические свойства), biologically active components (биологически активные компоненты). В качестве временных периодов для обзора научных статей был выбран интервал с 2001 по 2020 год. При отсутствии новейших сведений по конкретному аспекту изучаемой темы были использованы более ранние научные публикации.

Основная часть. *Использование трутневого расплода в пищу.* Трутнёвый расплод в зарубежных источниках характеризуется как «концентрированный питательный сок» [2, 3]. По пищевой ценности медоносную пчелу и ее расплод можно сравнить с мясом и соей [4]. Сведения об употреблении человеком расплода известны с давних времен. Еще в глубокой древности люди питались медом и личинками трутня [5]. По археологическим данным известно, что в Центральной Африке 1,6 млн лет назад человек прямоходящий уже употреблял расплод пчел в большом количестве [6]. В Эфиопии издавна едят личинок трутня как источник белка и жира.

От Заира в Африке до Таиланда и всей Юго-Восточной Азии личинки и куколки трутней собирают наряду с медом [7]. Африканцы, например, считают расплод пчел деликатесным блюдом. Так, личинки трутней медоносных пчел составляют определенную часть рациона в странах Африки и Юго-Восточной Азии и в наши дни [8, 9, 10].

В странах Южной Азии личинки трутней используют как ингредиенты некоторых блюд, их покрывают шоколадом и преподносят как угощение. В популярных ресторанах подают личинок трутней в омлете, который запекают в вине. В Японии считают соты с трутневым расплодом ценным продуктом для диетического питания и стараются увеличить его производство [10, 11]. Консервы с личинками в шоколаде можно найти в некоторых специализированных азиатских магазинах в Европе и США. Например, жареные во фритюре, соленые или сладкие личинки трутня упакованы как особые закуски, а мука

¹Бурмистрова Л. А., Будникова Н. В., Митрофанов Д. В. Гормоны трутневого расплода медоносных пчел. Апитерпия сегодня. 2014. С. 107-112.

из личинок может быть использована для обогащения вкуса пшеничной муки [4]. В Китае трутневые личинки применяют как продукт с высокой питательной ценностью. Кондитерские изделия с расплодом пчел продаются в США и странах ЕС [8].

В Колумбии и Венесуэле расплод настолько важный продукт, что, в частности, на языке проживающей там народности юкпа его обозначают словом «вано», используемым в отношении всех сортов меда [12].

Биологически активные компоненты трутнёвого расплода.

1. Липиды трутнёвого расплода.

1.1. *Ненасыщенные жирные кислоты*, в том числе деценовые, и их сложные эфиры, главным образом, триглицериды, занимают ведущее место среди ненасыщенных соединений трутнёвого расплода. Ненасыщенные жирные кислоты препятствуют развитию дислипидемии и атеросклероза, участвуют в построении нервной ткани и мембран клеток, а также в синтезе таких эндогенных биологически активных веществ, как простагландины, диацилглицериды, эндогенные каннабиноиды. Сообщается о повышении выработки предшественников андрогенов при введении животным свободных жирных кислот [13]. Имеются упоминания о содержании желчных кислот в трутнёвом расплоде [14].

1.2. *Фосфолипиды*. Установлено близкое содержание фосфолипидов в трутневых личинках, предкуколках и куколках, личинках маток и рабочих особей медоносных пчёл [15]. Фосфолипиды являются одними из самых распространённых молекул клеточной мембраны. Очищенные препараты фосфолипидов применяются в качестве гепатопротекторных лекарственных средств. Фосфолипиды также проявляют гиполлипидемическую и антиатерогенную активность, препятствуя отложению холестерина и триглицеридов в стенках сосудов. Содержание фосфолипидов в расплоде определяют путём экстракции липидной фракции, её минерализации и последующим спектрофотометрическим определением фосфора по реакции с молибдатом аммония и аскорбиновой кислотой и пересчётом его на фосфолипиды [15].

1.3. *Деценовые кислоты*. Уникальными компонентами продуктов пчеловодства являются деценовые кислоты [16]. Установлено, что 9-оксодеценовая кислота обладает выраженными иммуномодулирующими свойствами, уве-

личивая количество антителообразующих клеток, оказывает антимикробное и ранозаживляющее действие [17]. Массовая доля деценовых кислот в трутнёвом расплоде определяется путём их фракционной очистки с помощью последовательной экстракции вначале фракции свободных жирных кислот щелочным раствором, очистки раствора от менее полярных веществ эфиром, и затем экстракции фракции деценовых кислот эфиром из кислого водного раствора с последующим упариванием эфирного экстракта, добавления титрованного раствора гидроксида натрия и титрования его избытка раствором серной кислоты.

2. *Соединения, содержащие сульфгидрильные группы*. Высокое содержание сульфгидрильных групп вносит значительный вклад в антиокислительные свойства трутнёвого расплода. К таким соединениям относится глутатион.

В трутнёвом расплоде содержание сульфгидрильных групп в 2-3 раза выше, чем в маточном молочке [18]. Количественное содержание сульфгидрильных групп может быть определено либо по их реакции с реактивом Эллмана с образованием ярко-жёлтого окрашивания, которое измеряют спектрофотометрически [19], либо йодометрическим методом.

3. *Флавоноидные и другие фенольные соединения*. Флавоноиды представляют собой большую группу природных фенольных соединений, имеющих в составе структуру 2-фенилбенз-гамма-пирана или флавана. Образование флавоноидов характерно для высших растений. Флавоноиды делят на 6 групп (катехины, лейкоантоцианины, антоцианидины, флаваноны, флаванолы, флавонолы), к которым примыкают халконы и дигидрохалконы.

Трутневый расплод содержит в своём составе от 0,0145 до 1,03 % флавоноидных и других фенольных соединений, а сухой адсорбированный продукт – 0,24 %. Введение прополиса в композицию закономерно вызывает значительное увеличение содержания флавоноидных соединений. На организм человека флавоноиды оказывают капилляроукрепляющее, антиоксидантное, анальгетическое и противовоспалительное действие. Флавоноиды способны связывать ионы тяжёлых металлов, устраняя их каталитическое действие, они также ослабляют процессы перекисного окисления липидов, прерывая свободнорадикаль-

ные процессы. Имеются сообщения о противоопухолевом действии флавоноидов² [16]. Р-витаминное действие, которое заключается в способности устранять повышенную хрупкость капилляров, уменьшать проницаемость их стенок было обнаружено в 1940-х годах, после чего интерес к флавоноидам резко возрос. Кардиотропное действие состоит в улучшении энергетического обмена миокарда за счёт усиления утилизации глюкозы, повышения коэффициента полезного действия утилизации кислорода, насыщении миокарда ионами калия. Гепатопротекторное действие обусловлено усилением антитоксической функции печени, противовоспалительным, мембраностабилизирующим и антиоксидантным эффектами. Желчегонное действие вызвано усилением продукции и секреции желчи гепатоцитами. Спазмолитическое действие флавоноидов более выражено в отношении коронарных, меньше мозговых сосудов, бронхов, желчевыводящих путей, кишечника и матки².

Ориентировочную оценку суммарного содержания веществ, обладающих антиокислительным потенциалом, даёт определение показателя окисляемости продукта. Метод основан на способности перманганата калия восстанавливаться в кислой среде, при этом происходит обесцвечивание раствора. Другим способом определения ненасыщенных и других веществ с антиокислительным потенциалом является определение йодного числа. В основе метода лежит способность йода связываться с непредельными соединениями с последующим титрованием избытка йода раствором тиосульфата натрия.

4. *Белки, пептиды и аминокислоты.* Трутнёвый расплод содержит не менее 25 % протеина (в сухом веществе – 41,6 %). О высоком содержании цистеина в белке трутнёвого расплода свидетельствует наличие большого количества сульфгидрильных групп [18]. В литературе приводятся следующие данные по аминокислотному составу трутнёвого гомогената (табл. 1).

Показана анксиолитическая и ноотропная активность пептидного препарата трутнёвого расплода при интраназальном введении [21].

5. *Углеводы.* Трутнёвый расплод содержит в среднем 41,74 % восстанавливающих сахаров³, по другим данным – 22,44 %⁴.

6. *Гормональные компоненты.* Трутнёвый расплод превосходит маточное молочко по количеству тестостерона, прогестерона и эстрадиола.

Установлено, что содержание тестостерона увеличивается с возрастом личинок трутней [22]. Показано уменьшение содержания эстрадиола в трутнёвых личинках с возрастом⁵, по другим данным содержание эстрадиола в начале возрастает, достигая максимума у только что запечатанных личинок, а потом начинает снижаться и имеет наименьшее значение на стадии куколки [23]. Присутствие небольших количеств половых гормонов также связывают с косметическим, «омолаживающим» применением трутнёвого расплода [14].

Гонадотропное действие в большей степени присуще трутнёвому расплоду, чем маточному молочку⁶.

Определение гормональных компонентов осуществляется методом радиоиммунного анализа. Найден основной экдистероид куколок медоносных пчёл – макистерон А, 28-углеродный гормон линьки, содержание которого составило от 164 до 185 нг/г свежей массы. Макистерон А был выделен и идентифицирован нормально-фазовой и обращённо-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографией в сочетании с радиоиммунным анализом, дополнительно соединения характеризовали ядерно-магнитным резонансом и масс-спектрометрически [24]. На стадии куколки 27-углеродных экдистероидов, то есть 20-гидроксиэкдизона или экдизона, обнаружено не было [25].

7. *Минеральные элементы.* Исследовано содержание макроэлементов (натрий, калий, магний, кальций) и микроэлементов (цинк, медь, марганец) в трутнёвом расплоде. Установлена зависимость содержания минеральных элементов в трутнёвом расплоде от его возраста⁷.

²Муравьёва Д. А. Фармакогнозия. М.: Медицина, 1981. 656 с.

³Бурмистрова Л. А. Физико-химический анализ и биохимическая оценка биологической активности трутневого расплода: Дис.... канд. биол. наук. Рыбное, 1999. 173 с.

⁴Будникова Н. В. Совершенствование технологии производства и хранения трутневого расплода медоносных пчел: Дис.... канд. с.-х. наук. Рыбное, 2011. 159 с.

⁵Митрофанов Д. В., Будникова Н. В., Бурмистрова Л. А. Гормоны трутневого расплода медоносных пчел разного возраста. Пчеловодство. 2015;(7):58-59.

⁶Бурмистрова Л.А., Макарова В.Г., Рябков А.Н., Савилов К.В. Метаболическая оценка гонадотропного эффекта трутневого расплода. Апитерапия сегодня: мат.-лы VII научн.-практ. конф. по апитерапии (3-5 октября 1999 г.). Вып. 7. Рыбное, 2000. С. 95-97.

⁷Будникова Н. В. Указ. соч.

Таблица 1 – Аминокислотный состав трутнёвого расплода, % /
Table 1 – Amino acid composition of drone brood, %

Аминокислота / Amino acid	Количественное содержание / Quantitative content			
	по Н.В. Илиешу ⁸ / According to N. V. Ilieshiu (cited ⁸)	по Т. В. Вахониной (1988) (на абсолютно сухую навеску ⁹) / According to T. V. Vakhonina (1988) (on absolutely dry sample ⁹)	по Д. С. Лазарян (2002) [20] / According to D. S. Lazaryan (2002) [20]	
			свободные / free	сумма / sum
Лизин / Lysine	0,75	4,5	0,48	2,78
Гистидин / Histidine	0,33	5,6	0,19	0,88
Аргинин / Arginine	0,51	2,1	0,44	1,94
Аспарагиновая к-та / Aspartic acid	1,5	2,1	0,04	3,52
Треонин / Threonine	0,41	3,3	0,87	1,56
Серин / Serine	0,46	2,6	0,22	1,72
Глутаминовая к-та / Glutamic acid	1,73	4,2	1,02	6,27
Пролин / Proline	-	-	2,3	3,5
Глицин / Glycine	0,84	-	0,54	1,77
Аланин / Alanin	0,66	-	0,87	2,09
Цистин / Cystine	-	-	0,11	0,21
Валин / Valine	0,68	3,9	0,51	2,2
Метионин / Methionine	-	-	0,16	0,79
Изолейцин / Isoleucine	-	-	0,26	1,86
Лейцин / Leucine	0,95	3,5	0,45	3,34
Тирозин / Tyrosine	0,45	2,2	0,34	2,6
Фенилаланин / Phenylalanine	0,46	5,5	0,18	1,69
Цистеин / Cysteine	Отсутствует / Absent	4,1	-	-
Таурин / Taurine	-	-	0,08	-
Фосфосерин / Phosphoserine	-	-	0,12	-
Всего / Total	11,4	45,3	9,2	38,6
Незаменимые / Irreplaceable	-	-	3,7	15,7
% незаменимых / % irreplaceable	-	-	39,9	40,8

Минеральные вещества трутнёвого расплода исследуются методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Переработка трутнёвого расплода. Нативный гомогенат трутнёвого расплода по причине своей термолабильности заметного применения в апитерапевтической и диетологической практике не находит. Обычно используются более стабильные и часто обогащённые другими биологически активными веществами продукты его переработки.

Несмотря на относительное многообразие путей переработки трутнёвого расплода, переработка начинается в большинстве случаев с прессования сота и получения гомогената [26], который фильтруют через нейлоновую

ткань и замораживают либо подвергают дальнейшей переработке. Исторически первым способом переработки гомогената трутнёвого расплода была его лиофилизация [26]. Близким способом получается продукт, получивший авторское название Билар-1 [27]. При хорошей общей сохранности биологически активных веществ в лиофилизированном продукте у метода имеются и недостатки: в процессе лиофильной сушки теряется значительная часть летучих компонентов, продукт склонен к поглощению влаги и кислорода воздуха. Однако в тех областях, где присутствие дополнительных компонентов нежелательно, предпочтительно использование лиофилизированного расплода.

⁸Илиешу Н. В. Способ получения биологически активного продукта из личинок трутней, или рабочих пчел или маток. Патент на изобретение ОСИМ №74872/1980.

⁹Вахонина Т. В., Левина Л. П., Бондарева Е. М. Биологически активные вещества маточного молочка. Биологические ресурсы пчеловодства и их рациональное использование в народном хозяйстве и медицине: Межвуз. сб. науч. тр. Горький, 1988. С. 60-72.

Л. А. Бурмистровой был исследован способ стабилизации трутнёвого расплода путём адсорбции, описаны результаты и ориентировочные сроки хранения сырого и сухого адсорбированного продукта¹⁰. Н. В. Будниковой были продолжены дальнейшие исследования сухого адсорбированного трутнёвого расплода¹¹. Также изучены вопросы стабилизации трутнёвого расплода спиртом, интерес представляет возможность стабилизации гормональных компонентов. В результате исследования стабилизации трутнёвого расплода мёдом был получен продукт Андромёд, содержащий мёд, трутнёвый расплод и экстракт прополиса.

Проведена работа по сравнению ранее неисследованных адсорбентов для стабилизации трутнёвого расплода и влиянию хитинхитозан-меланинового комплекса на содержание биологически активных компонентов и стабильность продукта¹² [28, 29]. В настоящее время изучается влияние прополиса на стабильность и содержание БАВ в адсорбированном трутнёвом расплоде.

Показатели качества и безопасности трутнёвого расплода. Гомогенат трутнёвого расплода и пчелиное маточное молочко являются продуктами пчеловодства, богатыми белками, жирными кислотами, витаминами, макро- и микроэлементами, сульфгидрильными группами, гормонами, ферментами. По минеральному составу, уровню протеина и восстанавливающих сахаров маточное молочко и трутнёвый расплод весьма близки, в то время как по количественному содержанию свободных деценовых кислот (особенно 10-оксидецееновой) трутнёвый расплод уступает маточному молочку, а по содержанию гормонов и сульфгидрильных групп, напротив, трутнёвый расплод превосходит маточное молочко. В трутневом расплоде обнаружено 0,0145 % флавоноидных соединений. Таким образом, гомогенат трутнёвого расплода и маточное молочко имеют различное происхождение в пчелиной семье, различное содержание биологически активных веществ, а следовательно, и различные питательные и лечебные качества.

По причине высокого содержания биологически активных веществ трутнёвый расплод нуждается в строгом соблюдении условий хранения и стабилизации тем или иным способом. Этим обусловлена необходимость стандартизации данного продукта.

Разработан ГОСТ Р 55324-2012 «Расплод медоносных пчёл *Apis Mellifera* L. Технические условия»¹³, который предусматривает возможность замораживания расплода. Гомогенат трутневых личинок представляет собой жидкую, вязкую, непрозрачную однородную массу от белого до кремового цвета, слегка сладкого вяжущего вкуса со специфическим ароматом. Позднее был выпущен «ГОСТ Р 56668-2015 Гомогенат трутнёвого расплода. Технические условия»¹⁴, нормирующий основные показатели качества гомогената трутнёвого расплода (табл. 2). Эти показатели характеризуют как подлинность и натуральность гомогената трутнёвого расплода, так и его доброкачественность. По показателям безопасности гомогенат трутнёвого расплода должен соответствовать требованиям ТР ТС 021/2011¹⁵.

Пищевая ценность гомогената (в 100 г продукта) по «ГОСТ Р 56668-2015 Гомогенат трутнёвого расплода. Технические условия»: углеводы – 5 г, белки – 17 г, жиры – 6,3 г, энергетическая ценность: 144 кКал/600,9 кДж. Установлено, что трутнёвый расплод не превышает норм Швейцарии по микробиологическим показателям [30, 31].

Биологическое действие трутнёвого расплода. Влияние трутнёвого расплода и маточного молочка на физическую работоспособность в условиях регулярных интенсивных мышечных нагрузок изучила Л. А. Бурмистрова¹⁶. Оценку состояния физической активности животных различных опытных серий производили по комплексу показателей, включающему массаметрические характеристики, непосредственные параметры плавательных тестов, концентрации некоторых метаболитов в сыворотке крови и тканях, маркеры газового состава и кислотно-щелочного баланса крови.

¹⁰Бурмистрова Л. А. Указ. соч.

¹¹Будникова Н. В. Указ. соч.

¹²Митрофанов Д. В., Бурмистрова Л. А., Будникова Н. В., Есенкина С. Н. Стабилизация биологически активных компонентов трутневого расплода адсорбцией. Сб. научн.-исслед. работ по пчеловодству. Рыбное: НИИ пчеловодства, 2015. С. 170-175. URL: <http://www.bee.ryazan.ru/files/Collection-of-NIR.pdf#page=170>

¹³ГОСТ Р 55324-2012. Расплод медоносных пчёл *Apis Mellifera* L. Технические условия. Переиздание. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200102574>

¹⁴ГОСТ Р 56668-2015. Гомогенат трутнёвого расплода. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 24 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200125975>

¹⁵ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (с изменениями на 8 августа 2019 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560>

¹⁶Бурмистрова Л. А. Указ. соч.

Таблица 2 – Нормативные показатели гомогената трутнёвого расплода /
Table 2 – Standard indicators of homogenate of drone brood

Наименование показателя / Indicator name	Характеристика и нормы / Characteristics and norms
Внешний вид / Appearance	Однородная масса / Homogeneous mass
Цвет / Color	От белого до кремового / White to Cream
Консистенция / Consistency	Жидкая / Liquid
Механические примеси / Mechanical impurities	Не допускаются / Not allowed
Запах / Smell	Специфический, характерный для расплода / Brood-specific
Массовая доля воды, %, не более / Mass fraction of water, %, no more	72,00
Показатель окисляемости (подлинности), с, не более / Indicator of oxidizability (authenticity), s, no more	16,00
Водородный показатель (рН) водного раствора массовой долей 2 %, не менее / Hydrogen index (pH) of an aqueous solution by mass fraction of 2 %, not less	5,80
Массовая доля деценовых кислот, %, не менее* / Mass fraction of decenoic acids, %, not less	2,5
Массовая доля восстанавливающих сахаров, %, не менее / Mass fraction of reducing sugars, %, not less	20,0
Массовая доля сырого протеина, %, не менее* / Mass fraction of crude protein, %, not less	25,0
Массовая доля воска, %, не более* / Mass fraction of wax, %, no more	0,10

* К безводному веществу гомогената трутнёвого расплода / To anhydrous substance of drone brood homogenate

Трутнёвый расплод, вводимый в течение 15 дней экспериментальным животным, подвергающимся четырём двойным плаваниям «до предела», способствовал более значимой прибавке массы, чем у крыс, не получавших биологически активные продукты пчеловодства, что можно рассматривать как косвенное проявление его актопротекторного эффекта. Это действие оказалось практически равновыраженным как при назначении дозы 10 мг/кг, так и дозы 20 мг/кг. Соответствующий эффект маточного молочка получили несколько большим. Трутнёвый расплод способствовал увеличению объёма выполняемых нагрузок подопытными животными. Это действие достоверно проявилось к 10-му дню введения расплода.

Актопротекторный эффект практически не зависел от дозы препарата, при этом он оказался несколько менее выраженным, чем при назначении маточного молочка. Результаты сопоставления показателей газового состава и кислотно-щелочного равновесия свидетельствуют о достоверном превышении протекторного эффекта маточного молочка по сравнению с трутнёвым расплодом. Действие

последнего оказалось практически независимым от дозы. Высказано предположение о наличии анаболического эффекта у трутнёвого расплода, обеспечивающего реализацию актопротекторного действия.

Во всех сериях, где вводили исследуемые продукты пчеловодства, был отмечен более низкий уровень кортизола, чем в серии «плавание», что отражает меньшую степень напряжения основных мобилизационных механизмов. При этом концентрация кортизола оказалась близка при назначении как маточного молочка, так и трутнёвого расплода. Маточное молочко способствует сохранению гликогена в скелетной мышце при интенсивной физической нагрузке, в то время как трутнёвый расплод практически не влияет на данный показатель¹⁷.

Гомогенат трутнёвого расплода по своему применению имеет сравнительно узкую направленность, но в этой области не имеет себе равных. Л. А. Бурмистровой¹⁸ была проведена оценка особенностей посткастрационного периода у крыс-самцов при назначении трутнёвого расплода и маточного молочка.

¹⁷Бурмистрова Л. А., Будникова Н. В., Митрофанов Д. В. Указ. соч.

¹⁸Бурмистрова Л. А. Указ. соч.

Установлен стимулирующий эффект выработки тестостерона при применении маточного молочка и трутнёвого расплода при односторонней кастрации. У интактных животных 15-дневное введение исследованных продуктов пчеловодства не оказало заметного влияния на концентрацию тестостерона. Эти данные и отсутствие гипертестостеронемии в сериях «кастрация + маточное молочко» и «кастрация + трутнёвый расплод» позволяют с большой вероятностью исключить возможность периферического типа действия, то есть аналога заместительной терапии, и связать гонадотропный эффект с центральной регуляцией продукции тестостерона. Динамика изменения концентрации фруктозы в семенной жидкости также свидетельствует о существенном ускорении восстановительного процесса.

Маточное молочко и трутнёвый расплод способствовали сохранению массы семенных пузырьков и предстательной железы в раннем посткастрационном периоде с последующей компенсаторной гипертрофией.

Данные об отчётливом и практически равновыраженном гонадотропном эффекте маточного молочка и трутнёвого расплода подтверждаются также анализом динамики значений весовых коэффициентов для семенников, семенных пузырьков и предстательной железы. Доказано, что гомогенат трутнёвого расплода обладает лечебно-профилактическими свойствами, особенно антиоксидантными, иммуномодулирующими и противоопухолевыми. Это обусловлено входящими в состав ненасыщенными соединениями, такими как деценовые кислоты, сульфгидрильные соединения, способные связывать активные формы кислорода [27]. Женщинами-пчеловодами замечено, что после нанесения на лицо измельчённых трутнёвых личинок кожа омолаживается, в связи с чем трутнёвый расплод представляет интерес как косметическое средство [14]. В исследованиях на цыплятах-бройлерах породы РОСС 308 установлено, что апиларнил обладает преимущественно андрогенным, а не анаболическим действием при назначении 4 г/сутки перорально в период роста самцам, что проявляется стимуляцией развития вторичных половых признаков без роста массы тела к 42 дню развития [25, 32, 33]. Введение 10 мг/кг трутнёвого расплода на протяжении 10 дней не влияет на функцию щитовидной и паращитовидных желёз при

отсутствии эндокринных патологий, что позволяет расширить область его потенциального применения [34]. Отмечается гиполипидемический эффект лиофилизированного трутнёвого расплода, который связан с ускорением превращения холестерина в желчные кислоты, подавлением реакции надпочечников на стресс и мембраностабилизирующим действием [35]. Снижая выраженность оксидативного стресса, трутнёвый расплод уменьшает риск смерти от сердечно-сосудистых заболеваний [36].

Таким образом, трутнёвому расплоду свойственны следующие биологические эффекты:

Актопротекторный – нормализация метаболических показателей в норме, условиях стресса и патологии; стабилизация метаболических реакций, нервных и гуморальных ответов на стресс, что приводит к повышению неспецифической резистентности организма, нормализации функционирования органов и систем в условиях стресса.

Анаболический – усиление синтеза белка в организме, увеличение массы тела за счёт биосинтеза белка у спортсменов: повышается мышечный статус и восприимчивость к тренировкам.

Эндокринотропный – нормализация уровней половых гормонов, глюкокортикоидов, гормонов щитовидной и паращитовидных желёз, что способствует нормализации метаболических процессов.

Иммуномодулирующий – усиление резистентности организма к инфекционным агентам, уменьшение выраженности аллергических реакций.

Нейротропный – умеренный седативный эффект сочетается с мягким психостимулирующим, ноотропным и антиастеническим эффектами, что способствует повышению общего тонуса нервной системы, устойчивости к стрессу и продуктивности психической деятельности.

Нутритивный – связан с высоким содержанием в трутнёвом расплоде питательных веществ, способных эффективно восполнять дефицит нутриентов в организме.

Косметический – биологически активные вещества трутнёвого расплода оказывают благотворное действие на кожу, чем обусловлено применение его в косметике.

Средняя смертельная доза (LD₅₀) при пероральном введении составила 20 г/кг, при внутривентральном – 7 г/кг, что демонстрирует низкую токсичность продукта на

основе лиофилизированного трутнёвого расплода для белых мышей [37]. На данный момент не зарегистрировано пищевых отравлений, вызванных расплодом пчёл [38]. Описан случай анафилаксии при употреблении в пищу нативного гомогената трутнёвого расплода [39].

Препараты трутнёвого расплода и их применение. Разработан продукт Апиларнил, полученный из трутнёвых личинок, которые по специальной технологии собираются вместе со всем содержимым ячеек [26]. Апиларнил стабилизируют путём высушивания в вакууме [40]. Действие продукта основывается на свойствах натуральных веществ и состоит в стабилизирующем эффекте на процессы общего метаболизма [40]. Клинические исследования апиларнила показали его эффективность во многих областях медицины [26]. Апиларнилпроп помимо трутнёвого расплода содержит прополис. Указанные препараты показали свою эффективность при следующих состояниях: психиатрические заболевания невротического типа – простая, половая и депрессивная неврастения, неврастения страха; дебильность и отсталое развитие детей, физическая астения после истощающих и послеоперативных болезней, деминерализация и дисэлектролитемия при метаболических заболеваниях; пищеварительные дисфункции; инфекционно-аллергические состояния; гепатиты [40].

В настоящее время Апиларнилпроп выпускается в качестве лекарственного средства в Румынии компанией Sicomed. Одно драже содержит лиофилизированного апиларнила 10 мг и прополиса 7 мг. Взрослым рекомендуется принимать по 3-8 драже в день, детям – по 1-3 драже.

Применение препарата Билар спортсменами в возрасте 8 и 10 лет показало улучшение функционального состояния сердечно-сосудистой системы [41]. Билар-1 рекомендуется принимать за полчаса до еды детям по 50 мг, взрослым по 100 мг 2-3 раза в день курсом 1-2 месяца. Рекомендуется повторять курсы 4-5 раз в год. Заявлено отсутствие побочных действий, противопоказания не заявлены.

Многими производителями выпускается трутнёвый расплод адсорбированный. Часто препараты трутнёвого расплода можно встретить под названием «Трутнёвое молочко». Производители рекомендуют его применять для:

- нормализации функции щитовидной железы при гипотиреозе;
- профилактики и лечения патологий сердечно-сосудистой системы, в том числе атеросклероза;
- лечения астении, хронического психического переутомления и стресса, депрессии и нарушения сна;
- профилактики отставания в развитии у детей;
- лечения нарушений в половой сфере;
- лечения простатита или аденомы предстательной железы;
- восстановления энергетических затрат при усиленных спортивных тренировках;
- стимуляции центральной нервной системы;
- как общеоздоравливающее;
- профилактики возрастных изменений.

Производители обычно рекомендуют принимать «Трутнёвое молочко» 2 раза в день в разовой дозе до 1 чайной ложки. Разные производители заявляют следующие противопоказания к применению трутнёвого молочка, которые могут быть расширены на все продукты, содержащие трутнёвый расплод: индивидуальная непереносимость продуктов пчеловодства, обострения инфекционных заболеваний, болезни коры надпочечников, онкологические заболевания, детский возраст до 12 лет. Последнее противопоказание связывают с наличием в продукте половых гормонов, однако их количество, по-видимому, недостаточно, чтобы вызвать нежелательные эндокринные сдвиги у детей. Продукция, содержащая лактозу, должна с осторожностью применяться людьми, страдающими лактазной недостаточностью. При реакциях непереносимости лактозы целесообразно применять продукты на основе лиофилизированного расплода или его композиции с мёдом (Андромёд).

Выпускается мёд с трутнёвым расплодом, пыльцой цветочной (обножкой) и экстрактом прополиса Андромёд. Его применение рекомендовано для: повышения иммунитета; нормализации работы эндокринной системы, желудочно-кишечного тракта; укрепления нервной системы и восстановления психического здоровья; при андрогенной недостаточности.

Взрослым рекомендуется принимать по 0,5 чайной ложки 1-2 раза в день за 30 минут до еды на протяжении 3-4 недель, детям до 12 лет – половинную дозу. Противопоказан при индивидуальной непереносимости продуктов пчеловодства.

Д. Г. Елистратовым и В. Н. Трифоновым запатентована БАД к пище для нормализации мозгового кровообращения, памяти, повышения устойчивости к умственным и физическим нагрузкам, снижения хрупкости сосудов [41]. Под действием БАД улучшаются реологические свойства крови. Активными компонентами биодобавки являются трутнёвый расплод, высушенные и измельчённые плоды шиповника, трава гречихи красностебельной, собранная в период цветения [42]. Таким образом, указанная биодобавка обладает метаболическим и ноотропным действием.

Запатентован препарат для лечения остеопороза с нормальной или повышенной минерализацией костной ткани при избыточной массе и метаболическом синдроме. Суточная доза трутнёвого расплода в препарате составляет от 10 до 1000 мг [43]. Показано, что БАД к пище «Остеомед Форте» позволяет повысить эффективность терапии постменопаузального остеопороза [44, 45]. Рекомендуется принимать «Остеомед Форте» по 2 таблетки 2 раза в день во время еды на протяжении 1 месяца. Добавка противопоказана при индивидуальной непереносимости компонентов, беременности и кормлении грудью.

БАД к пище «Остео-Вит D3» улучшает всасывание кальция из продуктов питания и позволяет избежать повторных переломов у детей и подростков с низкой минеральной плотностью костей [46]. «Остео-Вит D3» взрослые принимают по 1 таблетке 2 раза в день месячным курсом, после 5-10-дневного перерыва курс может быть повторён. Показаниями к приёму БАД также являются профилактика недостатка витамина Д, гормонов паращитовидных желёз, остеопороза, заболевания желудочно-кишечного тракта и другие. Добавка противопоказана при активном туберкулёзе лёгких, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, острых и хронических заболеваниях печени и почек, органических заболеваниях сердца.

Зарегистрирована БАД к пище «Леветон Форте», содержащая трутнёвый расплод адсорбированный [47]. По заявлению производителя, «Леветон Форте» повышает выработку тестостерона, способствует увеличению мышечной массы, повышает общую физическую работоспособность. Рекомендуется принимать по 1 таблетке 3 раза в день в течение 3 недель при массе тела меньше 70 кг, и по

2 таблетки – при массе тела больше 70 кг. Заявляется об «абсолютной безопасности» продукта, противопоказания не заявлены, даже индивидуальная непереносимость.

Показана эффективность БАД к пище «Эромакс» для коррекции сексуальных дисфункций при тревожно-депрессивных расстройствах, его способность стабилизировать соматовегетативную и психоэмоциональную сферу, повышать сексуальное влечение и улучшать качество эрекции [48, 49]. В состав БАД, помимо трутнёвого расплода, входят пчелиная обножка, корень женьшеня, L-аргинин, цитрат цинка, листья и стебли эпимедиума, корень левзеи сафлоровидной, пиридоксина гидрохлорид [50]. Производитель рекомендует принимать БАД взрослым по 3 таблетки 2 раза в день во время еды в первой половине дня курсом 2-3 недели, который можно повторить при необходимости. Помимо индивидуальной непереносимости, указаны такие противопоказания, как беременность, кормление грудью, повышенная нервная возбудимость, бессонница, повышенное артериальное давление, нарушение сердечной деятельности, выраженный атеросклероз.

Заключение. Несмотря на значительную пищевую ценность, биологическую активность и оздоровительный потенциал, БАДы к пище в соответствии с законодательством РФ не могут быть рекомендованы для лечения заболеваний. В России нет зарегистрированных лекарственных средств на основе трутнёвого расплода. По состоянию на январь 2021 года в Кокрейнской базе данных нет информации по применению трутнёвого расплода, в базе данных PubMed имеются единичные упоминания о трутнёвом гомогенате и Апиларниле. Таким образом, данные о проведённых двойных слепых плацебо-контролируемых исследованиях отсутствуют, хотя ряд препаратов прошёл II фазу клинических исследований. Таким образом, на настоящий момент препараты трутнёвого расплода могут быть отнесены к классу доказательности С. Следует отметить, что Российские фармацевтические компании практически не проводят двойных слепых плацебо-контролируемых исследований по причине их длительности и дороговизны, поэтому порой даже самые современные отечественные разработки не имеют доказательной базы. Кроме того, на недостаточную исследованность многих продуктов указыва-

ет единственное противопоказание – «индивидуальная непереносимость» или полное отсутствие заявленных противопоказаний. Это ограничивает медицинское применение

продуктов на основе трутнёвого расплода. Ценность трутнёвого расплода как пищевого продукта, богатого биологически активными веществами, под сомнение не ставится.

Список литературы

1. Руттнер Ф., Кенигер Н. Удаление клещей Варроа биологическими методами. XXVII Междунар. конгр. по пчеловодству Апимондии (Афины, Греция). Бухарест: Апимондия, 1979. С. 383-386.
2. Фолч Г. Пчелы и их продукты в фармацевтике прошлого. XXVI Междунар. конгр. по пчеловодству Апимондии (Австралия, Аделаида). Бухарест: Апимондия, 1977. С. 43-45.
3. Смирнова В. В. Фактор здорового питания. Пчеловодство. 2007;(7):58-61. Режим доступа: <https://beejournal.ru/pchely-v-meditsine-all/2622-faktor-zdorovogo-pitaniya>
4. Krell R. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Fao agricultural services bulletin. 1996;(124):409.
5. Жен-мин Жин, Хуан Шуан-сиу, Лиу Сиан-шу. Медоносная пчела и здоровье человека. Апиакта. 1993;(2-3):106-110.
6. Skinner M. Bee brood consumption: an alternative explanation for hypervitaminosis A in KNM – ER 1808 (*Homo erectus*) from Koobi Fora, Kenya. Journal of Human Evolution. 1991;20(6):493-503. DOI: [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(91\)90022-N](https://doi.org/10.1016/0047-2484(91)90022-N)
7. Waring C., Jump D. R. Rafter Beekeeping in Cambodia with *Apis dorsata*. Bee World. 2004;85(1):14-18. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2004.11099607>
8. Crane E. Bee and beekeeping: Science, Practice and World Resources. Ithaca, NY, USA: Cornstock Publ., 1990. 593 p. URL: <https://www.goodreads.com/book/show/3189903-bees-and-beekeeping>
9. Chen P. P., Wongsiri S., Janyanya T., Rinderer T. E., Vongsamanode S., Matsuka M., Sylvester H. A., Oldroyd B. P. Honey bees and other edible insects used as Human food in Thailand. American Entomologist, 1998;44(1):24-29. DOI: <https://doi.org/10.1093/ae/44.1.24>
10. Смирнов А. М., Чернов К. С. Пчеловодство Японии. Обзор XXV Междунар. конгр. по пчеловодству Апимондии (Гренобль, Франция). Бухарест: Апимондия, 1975. С. 27.
11. Кенигер Н., Аберсфельдер Г. Новые аспекты выращивания расплода медоносных пчел. XXX Междунар. конгр. по пчеловодству Апимондии (Нагойя, Япония). Бухарест: Апимондия, 1985. С. 35-38.
12. Хопкинс Д. Экстремальное питание. Пчела и человек. М., 2007. С.11-12.
13. Mai K., Bobbert T., Kullmann V., Andres J., Rochlitz H., Osterhoff M., Weickert M. O., Bähr V., Möhlig M., Pfeiffer A. F. H., Diederich S., Spranger J. Free Fatty Acids Increase Androgen Precursors *in Vivo*. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2006;91(4):1501–1507. DOI: <https://doi.org/10.1210/jc.2005-2069>
14. Прохода И. А. Трутнёвые личинки в косметической промышленности. Пчеловодство. 2006;(1):56-57.
15. Лазарян Д. С., Сотникова Е. М. Определение содержания липидного фосфора и фосфолипидов в расплоде пчёл. Химико-фармацевтический журнал. 2005;39(12):32-34. Режим доступа: <http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/view/2116>
16. Вахонина Т. В. Пчелиная аптека. СПб.: Лениздат, 1992. 190 с.
17. Исмаилова А. Ф., Шарипов А. А., Герасюта О. Н., Харисов Р. Я., Ишмуратова Н. М., Ишмуратов Г. Ю., Толстиков Г. А. Синтез и фармакологические свойства 9-оксо-2Е-деценовой кислоты. Химико-фармацевтический журнал. 2003;37(6):31-35. Режим доступа: <http://www.chem.folium.ru/index.php/chem/article/download/1355/1071>
18. Лазарян Д. С., Сотникова Е. М. Определение содержания сульфгидрильных групп в белке расплода пчёл. Химико-фармацевтический журнал. 2003;37(12):55-56. Режим доступа: <http://www.chem.folium.ru/index.php/chem/article/viewFile/1454/1170>
19. Ellman G. L. Tissue sulphhydryl groups. Archives of Biochemistry and Biophysics. 1959;82(1):70-77. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(59\)90090-6](https://doi.org/10.1016/0003-9861(59)90090-6)
20. Лазарян Д. С. Сравнительное изучение аминокислотного состава расплода пчёл. Химико-фармацевтический журнал. 2002;36(12):42-44. Режим доступа: <http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/viewFile/2646/2133>
21. Моисеева А. А., Генгин М. Т., Гришина Ж. В. Нейростимулирующие свойства препарата пептидов, выделенных из личинок трутневого расплода. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2015;(4 (12)):3-9. Режим доступа: https://izvuz_est.pnzgu.ru/en1415
22. Будникова Н. В. Биологически активные соединения в трутневом расплоде. Пчеловодство. 2009;(6):52-53. Режим доступа: <https://beejournal.ru/gomogenat/477-biologicheski-aktivnye-soedineniya-v-trutnevom-rasplode>
23. Митрофанов Д. В., Будникова Н. В., Бурмистрова Л. А. Гормоны трутневого расплода медоносных пчел разного возраста. Пчеловодство. 2015;(7):58-59. Режим доступа: <https://beejournal.ru/annotatsii/2129-gormony-trutnevogo-rasploda-medonosnykh-pchel-raznogo-vozrasta>

24. Feldlaufer M. F., Herbert Jr E. W., Svoboda J. A Thompson M. J., Lusby W. R. Makisterone A: The major ecdysteroid from the pupa of the honey bee, *Apis Mellifera*. Insect Biochemistry. 1985;15(5):597-600. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(85\)90120-9](https://doi.org/10.1016/0020-1790(85)90120-9)
25. Jucel B., Acikgoz A., Bayraktar H., Seremet C. The Effects of Apilarnil (Drone Bee Larvae) Administration on Growth Performance and Secondary Sex Characteristics of Male Broilers. Journal of Animal and Veterinary Advances. 2011;10(17):2263-2266. URL: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2011.2263.2266>
26. Илиешу Н. В. Апиларнил – румынский пчеловодный продукт личиночного происхождения. XXIX международный конгресс по пчеловодству. Бухарест: Апимондия, 1983. С. 398.
27. Прохода И. А. Новая технология производства биларпродуктов. Пчеловодство – XXI век. Пчеловодство, апитерапия и качество жизни: мат-лы Международ. конф. М.: Пищепромиздат, 2010. С. 191-193.
28. Митрофанов Д. В., Будникова Н. В., Бурмистрова Л. А. Новый стабилизатор трутневого расплода. Пчеловодство. 2016;(10):58-59.
Режим доступа: <https://beejournal.ru/annotatsii/2708-novyj-stabilizator-trutnevogo-rasploda>
29. Митрофанов Д. В., Будникова Н. В., Бурмистрова Л. А. Оптимальный состав адсорбента для стабилизации трутневого расплода. Пчеловодство. 2017;(10):48-49.
Режим доступа: <https://beejournal.ru/annotatsii/3093-optimalnyj-sostav-adsorbenta-dlya-stabilizatsii-trutnevogo-rasploda>
30. Herren P., Ambühl D., Grunder J. Preliminary results of survey on food safety aspects of drone brood from *Apis mellifera* L. INSECTA 2019, Potsdam, Germany, 5-6 September 2019. Winterthur: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2019. p. 123. DOI: <https://doi.org/10.21256/zhaw-18197>
31. Herren P., Fieseler L., Ambuehl D., Grunder J. Foodborne bacteria in raw drone brood of *Apis mellifera* – a preliminary survey. Journal of Insects as Food and Feed. 2020. pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0067>
32. Açıkgöz Z., Yücel B. Using facilities of apilarnil (bee drone larvae) in poultry nutrition. Radovi Poljoprivrednog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu (Works of the Faculty of Agriculture University of Sarajevo). 2016;61(66 (1)):12-15. URL: https://www.researchgate.net/profile/Aziz-Karkaya/publication/306959878_DETERMINATION_OF_THE_SEEDLING_REACTIONS_OF_ADVANCED_BARLEY_LINES_TO_SPOT_BLOTCH_DISEASE_CAUSED_BY_Cochliobolus_sativus/links/57c835bb08ae28c01d51b9f6/DETERMINATION-OF-THE-SEEDLING-REACTIONS-OF-ADVANCED-BARLEY-LINES-TO-SPOT-BLOTCH-DISEASE-CAUSED-BY-Cochliobolus-sativus.pdf#page=12
33. Yücel B., Açıkgöz Z., Bayraktar H., Seremet C. The effects of apilarnil (drone bee larvae) administration on growth performance and secondary sex characteristics of male broilers. Journal of Animal and Veterinary Advances. 2011;10(17):2263-2266. URL: https://www.researchgate.net/profile/Oezer-Bayraktar/publication/259621857_The_Effects_of_Apilarnil_Drone_Bee_Larvae_Administration_on_Growth_Performance_and_Secondary_Sex_Characteristics_of_Male_Broilers/links/5699121608ae6169e551673d/The-Effects-of-Apilarnil-Drone-Bee-Larvae-Administration-on-Growth-Performance-and-Secondary-Sex-Characteristics-of-Male-Broilers.pdf
34. Лизунова А. С., Рязанова Е. А., Бурмистрова Л. А. Влияние трутневого расплода на гормональную активность щитовидной и паращитовидных желёз. Пчеловодство. 2018;(6):56-58. Режим доступа: <https://beejournal.ru/annotatsii/3459-vliyanie-trutnevogo-rasploda-na-gormonalnuyu-aktivnost-shchitovidnoj-i-parashchitovidnykh-zhelez>
35. Василенко Ю. К., Климова О. В., Лазарян Д. С. Биологические свойства трутневого расплода в условиях длительной гиперлипидемии. Химико-фармацевтический журнал. 2002;36(8):34-36. Режим доступа: <http://www.chem.folium.ru/index.php/chem/article/viewFile/2579/2066>
36. Sawczuk R., Karpinska J., Mityk W. What do we know and what we would like to know about drone homogenate. Journal of Ethnopharmacology. 2019;245:111581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.10.042>
37. Шоинбаева К. Б., Бигара Т., Калдыбекова Г. М. Создание биологически активного препарата из биларпродуктов. Евразийский Союз Ученых. 2016;(6):93-94.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27440494>
38. Jensen A. B., Evans J., Jonas-Levi A., Benjamin O., Martinez I., Dahle B., Roos N., Lecocq A., Foley K. Standard methods for *Apis mellifera* brood as human food Journal of Apicultural Research. 2019;58(2):1-28. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1226606>
39. Stoevesandt J., Trautmann A. Freshly squeezed: anaphylaxis caused by drone larvae juice. European annals of allergy and clinical immunology. 2017;50(5):232-234. DOI: <https://doi.org/10.23822/eurannaci.1764-1489.43>
40. Илиешу Н. В., Кравченко М. Применение драже Апиларнил и Апиларнилпроп в качестве натуральных тонических и трофических продуктов пчеловодства в терапевтических витализирующих целях. XXIX международный конгресс по пчеловодству. Бухарест: Апимондия, 1983. С. 394-398.
41. Литвин Ф. Б., Прохода И. А., Морозова Е. П., Мартынов С. В., Голощапова С. С., Силуванов В. В., Аверьянов М. А. Влияние препарата «Билар» на вегетативную регуляцию сердечного ритма юных спортсменов. Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. 2014;(1 (5)):50-55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23160706>

42. Елистратов Д. Г., Трифонов В. Н. Биологически активная добавка к пище: пат. № 2415610 (Российская Федерация). №. 2009145760/13: заявл. 09.12.2009; опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10. 7 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37468877>

43. Струков В. И. (RU), Джонс Ольга (US), Крутяков Е. Н. (RU), Елистратов К. Г. (RU) Способ и препарат для профилактики и лечения атипичного остеопороза с нормальной или повышенной минерализацией костной ткани с наличием полостных образований в трабекулярных отделах костей (и ему близких состояниях при избыточной массе и метаболическом синдроме): пат. № 2497533 (Российская Федерация). № 2012115654/15: заявл. 19.04.2012; опубл. 10.11.2013. Бюл. № 31. 12 с.

Режим доступа: https://dep_pediatr.pnzgu.ru/files/dep_pediatr.pnzgu.ru/2497533.pdf

44. Елистратов Д. Г., Максимова М. Н., Щербакова Ю. Г., Купцова Т. А. Способ диагностики остеопороза и определения эффективности препарата в лечении заболевания. Теория и практика создания тренажеров: накопление и обработка информации, информационные модели, средства информатизации: сб. ст. Международ. конф. Пенза, 2015. Т.1. С. 85-91.

45. Елистратов Д. Г., Галеева Р. Т., Долгушкина Г. В., Курашвили Л. В., Филиппова О. В., Щербакова Ю. Г., Купцова Т. А. «Остеомед Форте» в лечении постклимактерического остеопороза. Теория и практика создания тренажеров: накопление и обработка информации, информационные модели, средства информатизации: сб. ст. Международ. конф. Пенза, 2015. Т. 1. С.75-81.

46. Елистратов Д. Г., Щербакова Ю. Г., Прокофьев И. А., Шишкина Л. С., Радченко Л. Г., Максимова М. Н., Агафонов Д. В. Повторные переломы костей у детей и подростков, лечение и профилактика. Теория и практика создания тренажеров: накопление и обработка информации, информационные модели, средства информатизации: сб. ст. Международ. конф. Пенза, 2015. Т. 1. С.92-96.

47. Помазанов В. В., Киселева В. А., Марданлы С. Г., Рогожникова Е. П. Трутнёвый расплод-как сырьё для производства лечебных и оздоровительных препаратов. Современные аспекты лабораторной диагностики и инноваций в медицине: сб. мат-лов научн.-практ. конф. с междунар. участием. Орехово-Зуево: редакционно-издательский отдел ГГТУ, 2018. С. 63-74.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36788763&>

48. Петрова Е. В., Вакина Т. Н., Бурмистрова Л. А. Сексуальные дисфункции при тревожно-депрессивных расстройствах. [Электронный ресурс] Лечащий врач. 2014;(5). URL: <https://www.lvrach.ru/2014/05/15435972/> (дата обращения 08.06.17).

49. Петрова Е. В., Вакина Т. Н., Николаев В. М., Елистратов Д. Г., Трифонов В. Н. Сексуальные дисфункции у пациентов с тревожно-депрессивными расстройствами и возможности их терапевтической коррекции. Психическое здоровье населения как основа национальной безопасности России: мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. участием. Казань, 2012. С. 302.

50. Вакина Т. Н., Петрова Е. В., Трифонов В. Н., Крутяков Е. Н., Федоров А. В., Андреева Е. С., Толбина Г. А. Способ восстановления полового влечения (либидо) у мужчин путем применения биологически активной добавки для восстановления полового влечения (либидо) у мужчин: пат. № 2496491 (Российская Федерация). № 2012135560/15: заявл. 20.08.2012; опубл. 27.10.2013. Бюл. № 30. 26 с. Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002496491_20131027_C1_RU?page=1&rotate=0&theme=white

References

1. Ruttner F., Keniger N. *Udalenie kleshchey Varroa biologicheskimi metodami*. [Removal of Varroa ticks by biological methods]. XXVII Mezhdunar. kongr. po pchelovodstvu Apimondii (Afiny, Gretsia). [XXVII International. congr. Apimondia Apiculture (Athens, Greece)]. Bukharest: Apimondiya, 1979. pp. 383-386.

2. Folch G. *Pchely i ikh produkty v farmatsevtike proshlogo*. [Bees and their products in the pharmaceutical industry of the past]. XXVI Mezhdunar. kongr. po pchelovodstvu Apimondii (Avstraliya, Adelaida). [XXVI International. congr. Apimondia Apiculture (Australia, Adelaide)]. Bukharest: Apimondiya, 1977. pp. 43-45.

3. Smirnova V. V. *Faktor zdorovogo pitaniya*. [Healthy eating factor]. *Pchelovodstvo*. 2007;(7):58-61. (In Russ.). URL: <https://beejournal.ru/pchely-v-meditsine-all/2622-faktor-zdorovogo-pitaniya>

4. Krell R. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. *Fao agricultural services bulletin*. 1996;(124):409.

5. Zhen-min Zhin, Khuan Shuan-siu, Liu Sian-shu. *Medonosnaya pchela i zdorov'e cheloveka*. [Honeybee and human health]. *Apiakta*. 1993;(2-3):106-110.

6. Skinner M. Bee brood consumption: an alternative explanation for hypervitaminosis A in KNM – ER 1808 (*Homo erectus*) form Koobi Fora, Kenya. *Journal of Human Evolution*. 1991;20(6):493-503. DOI: [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(91\)90022-N](https://doi.org/10.1016/0047-2484(91)90022-N)

7. Waring C., Jump D. R. Rafter Beekeeping in Cambodia with *Apis dorsata*. *Bee World*. 2004;85(1):14-18. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2004.11099607>

8. Crane E. *Bee and beekeeping: Science, Practice and World Resources*. Ithaca, NY, USA: Cornstock Publ., 1990. 640 p. URL: <https://www.goodreads.com/book/show/3189903-bees-and-beekeeping>

9. Chen P. P., Wongsiri S., Janyanya T., Rinderer T. E., Vongsamanode S., Matsuka M., Sylvester H. A., Oldroyd B. P. *Honey bees and other edible insects used as Human food in Thailand*. *American Entomologist*, 1998;44(1):24-29. DOI: <https://doi.org/10.1093/ae/44.1.24>
10. Smirnov A. M., Chernov K. S. *Pchelovodstvo Yaponii*. [Beekeeping in Japan]. *Obzor XXV Mezhdunar. kongr. po pchelovodstvu Apimondii (Grenobl', Frantsiya)*. [Review of the XXV International Congr. Apimondia Apiculture (Grenoble, France)]. Bukharest: *Apimondiya*, 1975. p. 27.
11. Keniger N., Abersfel'der G. *Novye aspekty vyrashchivaniya rasploda medonosnykh pchel*. [New aspects of honeybee brood cultivation]. *XXX Mezhdunar. kongr. po pchelovodstvu Apimondii (Nagoyya, Yaponiya)*. [XXX International Congr. Apimondia Apiculture (Nagoya, Japan)]. Bukharest: *Apimondiya*, 1985. pp. 35-38.
12. Khopkins D. *Ekstremal'noe pitanie. Pchela i chelovek*. [Extreme nutrition. The bee and the man]. Moscow, 2007. pp.11-12.
13. Mai K., Bobbert T., Kullmann V., Andres J., Rochlitz H., Osterhoff M., Weickert M. O., Bähr V., Möhlig M., Pfeiffer A. F. H., Diederich S., Spranger J. Free Fatty Acids Increase Androgen Precursors *in Vivo*. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2006;91(4):1501–1507. DOI: <https://doi.org/10.1210/jc.2005-2069>
14. Prokhoda I. A. *Trutnevye lichinki v kosmeticheskoy promyshlennosti*. [Drone larvae in the cosmetics industry]. *Pchelovodstvo*. 2006;(1):56-57. (In Russ.).
15. Lazaryan D. S., Sotnikova E. M. *Opreделение soderzhaniya lipidnogo fosfora i fosfolipidov v rasplode pchel*. [Determination of the content of lipid-bound phosphorus and phospholipids in bee brood]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2005;39(12):32-34. (In Russ.). URL: <http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/view/2116>
16. Vakhonina T. V. *Pchelinaya apteka*. [Bee pharmacy]. Saint-Petersburg: *Lenizdat*, 1992. 190 p.
17. Ismagilova A. F., Sharipov A. A., Gerasyuta O. N., Kharisov R. Ya., Ishmuratova N. M., Ishmuratov G. Yu., Tolstikov G. A. *Sintez i farmakologicheskie svoystva 9-okso-2E-detsenovoy kisloty*. [Synthesis and pharmacological properties of 9-oxo-2E-decenoic acid]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2003;37(6):31-35. (In Russ.). URL: <http://www.chem.folium.ru/index.php/chem/article/download/1355/1071>
18. Lazaryan D. S., Sotnikova E. M. *Opreделение soderzhaniya sulfhidril'nykh grupp v belke rasploda pchel*. [Determining the content of sulfohydriyl groups in bee brood proteins]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2003;37(12):55-56. (In Russ.). URL: <http://www.chem.folium.ru/index.php/chem/article/viewFile/1454/1170>
19. Ellman G. L. Tissue sulphydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1959;82(1):70-77. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(59\)90090-6](https://doi.org/10.1016/0003-9861(59)90090-6)
20. Lazaryan D. S. *Sravnitel'noe izuchenie aminokislotochnogo sostava rasploda pchel*. [Comparative study of the amino acid composition of bee brood]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2002;36(12):42-44. (In Russ.). URL: <http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/viewFile/2646/2133>
21. Moiseeva A. A., Gengin M. T., Grishina Zh. V. *Neyrostimuliruyushchie svoystva preparata peptidov, vydelennykh iz lichinok trutneвого rasploda*. [Neurostimulating properties of a drug with peptides, extracted from drone brood larvae]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2015;(4 (12)):3-9. (In Russ.). URL: <https://izvuz.est.pnzgu.ru/en1415>
22. Budnikova N. V. *Biologicheski aktivnye soedineniya v trutnevom rasplode*. [Biologically active compounds in drone brood]. *Pchelovodstvo*. 2009;(6):52-53. (In Russ.). URL: <https://beejournal.ru/gomogenat/477-biologicheski-aktivnye-soedineniya-v-trutnevom-rasplode>
23. Mitrofanov D. V., Budnikova N. V., Burmistrova L. A. *Gormony trutneвого rasploda medonosnykh pchel raznogo vozrasta*. [Hormones of drone brood of honey bees of different ages]. *Pchelovodstvo*. 2015;(7):58-59. (In Russ.). URL: <https://beejournal.ru/annotatsii/2129-gormony-trutneвого-rasploda-medonosnykh-pchel-raznogo-vozrasta>
24. Feldlaufer M. F., Herbert Jr E. W., Svoboda J. A Thompson M. J., Lusby W. R. Makisterone A: The major ecdysteroid from the pupa of the honey bee, *Apis Mellifera*. *Insect Biochemistry*. 1985;15(5):597-600. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(85\)90120-9](https://doi.org/10.1016/0020-1790(85)90120-9)
25. Jucel B., Acikgoz A., Bayraktar H., Seremet C. The Effects of Apilarnil (Drone Bee Larvae) Administration on Growth Performance and Secondary Sex Characteristics of Male Broilers. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2011;10(17):2263-2266. URL: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2011.2263.2266>
26. Ilieshiu N. V. *Apilarnil – rumynskiy pchelovodnyy produkt lichinochnogo proiskhozhdeniya*. [Apilarnil is a Romanian bee product of larval origin]. *XXIX mezhdunarodnyy kongress po pchelovodstvu*. [XXIX International Congress on beekeeping]. Bukharest: *Apimondiya*, 1983. p. 398.
27. Prokhoda I. A. *Novaya tekhnologiya proizvodstva bilarproduktov*. [New technology for the production of bilar products]. *Pchelovodstvo – XXI vek. Pchelovodstvo, apiterapiya i kachestvo zhizni: mat-ly Mezhdunarod. konf.* [Beekeeping – XXI century. Beekeeping, apitherapy, and quality of life: Proceedings of International conf.]. Moscow: *Pishchepromizdat*, 2010. pp. 191-193.
28. Mitrofanov D. V., Budnikova N. V., Burmistrova L. A. *Novyy stabilizator trutneвого rasploda*. [New drone brood stabilizer]. *Pchelovodstvo*. 2016;(10):58-59. (In Russ.). URL: <https://beejournal.ru/annotatsii/2708-novyy-stabilizator-trutneвого-rasploda>

29. Mitrofanov D. V., Budnikova N. V., Burmistrova L. A. *Optimal'nyy sostav adsorbenta dlya stabilizatsii trutneвого rasploda*. [Optimal adsorbent composition for stabilizing drone brood]. *Pchelovodstvo*. 2017;(10):48-49. (In Russ.). URL: <https://beejournal.ru/annotatsii/3093-optimalnyi-sostav-adsorbenta-dlya-stabilizatsii-trutneвого-rasploda>
30. Herren P., Ambühl D., Grunder J. Preliminary results of survey on food safety aspects of drone brood from *Apis mellifera* L. INSECTA 2019, Potsdam, Germany, 5-6 September 2019. Winterthur: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2019. p. 123. DOI: <https://doi.org/10.21256/zhaw-18197>
31. Herren P., Fieseler L., Ambuehl D., Grunder J. Foodborne bacteria in raw drone brood of *Apis mellifera* – a preliminary survey. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020. pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0067>
32. Açıkgöz Z., Yücel B. Using facilities of apilarnil (bee drone larvae) in poultry nutrition. *Radovi Poljoprivrednog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu* (Works of the Faculty of Agriculture University of Sarajevo). 2016;61(66 (1)):12-15. URL: https://www.researchgate.net/profile/Aziz-Karakaya/publication/306959878_DETERMINATION_OF_THE_SEEDLING_REACTIONS_OF_ADVANCED_BARLEY_LINES_TO_SPOT_BLOTCH_DISEASE_CAUSED_BY_Cochliobolus_sativus/links/57c835bb08ae28c01d51b9f6/DETERMINATION-OF-THE-SEEDLING-REACTIONS-OF-ADVANCED-BARLEY-LINES-TO-SPOT-BLOTCH-DISEASE-CAUSED-BY-Cochliobolus-sativus.pdf#page=12
33. Yücel B., Açıkgöz Z., Bayraktar H., Seremet C. The effects of apilarnil (drone bee larvae) administration on growth performance and secondary sex characteristics of male broilers. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2011;10(17):2263-2266. URL: https://www.researchgate.net/profile/Oezer-Bayraktar/publication/259621857_The_Effects_of_Apilarnil_Drone_Bee_Larvae_Administration_on_Growth_Performance_and_Secondary_Sex_Characteristics_of_Male_Broilers/links/5699121608ae6169e551673d/The-Effects-of-Apilarnil-Drone-Bee-Larvae-Administration-on-Growth-Performance-and-Secondary-Sex-Characteristics-of-Male-Broilers.pdf
34. Lizunova A. S., Ryazanova E. A., Burmistrova L. A. *Vliyanie trutneвого rasploda na gormonal'nyuyu aktivnost' shchitovidnoy i para-shchitovidnykh zhelez*. [Influence of drone brood on the hormonal activity of the thyroid and parathyroid glands]. *Pchelovodstvo*. 2018;(6):56-58. (In Russ.). URL: <https://beejournal.ru/annotatsii/3459-vliyanie-trutneвого-rasploda-na-gormonalnyuyu-aktivnost-shchitovidnoy-i-parashchitovidnykh-zhelez>
35. Vasilenko Yu. K., Klimova O. V., Lazaryan D. S. *Biologicheskie svoystva trutneвого rasploda v usloviyakh dlitel'noy giperlipidemii*. [Biological effect of drone brood under chronic hyperlipidemia conditions]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2002;36(8):34-36. (In Russ.) URL: <http://www.chem.folium.ru/index.php/chem/article/viewFile/2579/2066>
36. Sawczuk R., Karpinska J., Mityk W. What do we know and what we would like to know about drone homogeneity. *Journal of Ethnopharmacology*. 2019;245:111581. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.10.042>
37. Shoinbaeva K. B., Bigara T., Kaldybekova G. M. *Sozdanie biologicheskii aktivnogo preparata iz bilarproduktov*. [Creation of a biologically active drug from bilar products]. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh* = Eurasian Union of Scientists. 2016;(6):93-94. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27440494>
38. Jensen A. B., Evans J., Jonas-Levi A., Benjamin O., Martinez I., Dahle B., Roos N., Lecocq A., Foley K. Standard methods for *Apis mellifera* brood as human food *Journal of Apicultural Research*. 2019;58(2):1-28. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1226606>
39. Stoevesandt J., Trautmann A. Freshly squeezed: anaphylaxis caused by drone larvae juice. *European annals of allergy and clinical immunology*. 2017;50(5):232-234. DOI: <https://doi.org/10.23822/eurannaci.1764-1489.43>
40. Ilieshiu N. V., Kravchenko M. *Primenenie drazhe Apilarnil i Apilarnilprop v kachestve natural'nykh tonicheskikh i troficheskikh produktov pchelovodstva v terapevtycheskikh vitaliziruyushchikh tselyakh*. [The use of Apilarnil and Apilarnilprop tablets as natural tonic and trophic products of beekeeping for therapeutic vitalizing purposes]. *XXIX mezhdunarodnyy kongress po pchelovodstvu*. [XXIX International Congress on Bee-keeping]. Bukharest: *Apimondiya*, 1983. pp. 394-398.
41. Litvin F. B., Prokhoda I. A., Morozova E. P., Martynov S. V., Goloshchapova S. S., Siluvanov V. V., Aver'yanov M. A. *Vliyanie preparata «Bilar» na vegetativnyuyu regulyatsiyu serdechnogo ritma yunyykh sportsmenov*. [The influence of preparation «Bilar» on vegetative regulation of heart rate of young sportsmen]. *Ezhegodnik NII fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy*. 2014;(1 (5)):50-55. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23160706>
42. Elistratov D. G., Trifonov V. N. Biologically active food supplement: patent Russian Federation no. 2415610. 2011. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37468877>
43. Strukov V. I. (RU), Dzhons Ol'ga (US), Krutyakov E. N. (RU), Elistratov K. G. (RU) Method and preparation for the prevention and treatment of atypical osteoporosis with normal or increased bone mineralization with the presence of cavities in the trabecular parts of the bones (and similar conditions with excess weight and metabolic syndrome): patent Russian Federation no. 2497533. 2013. URL: <https://dep.pediatr.pnzgu.ru/files/dep.pediatr.pnzgu.ru/2497533.pdf>
44. Elistratov D. G., Maksimova M. N., Shcherbakova Yu. G., Kuptsova T. A. *Sposob diagnostiki osteoporoza i opredeleniya effektivnosti preparata v lechenii zabolevaniya*. [A method for diagnosing osteoporosis and determining the effectiveness of the drug in the treatment of the disease]. *Teoriya i praktika sozdaniya trenazhe-rov: nakoplenie i obrabotka informatsii, informatsionnye modeli, sredstva informatizatsii: sb. st. Mezhdunarod. konf.* Penza, 2015. Vol. 1. pp. 85-91.

45. Elistratov D. G., Galeeva R. T., Dolgushkina G. V., Kurashvili L. V., Filippova O. V., Shcherbakova Yu. G., Kuptsova T. A. «Osteomed Forte» v lechenii postklimaktericheskogo osteoporoza. [«Osteomed Forte» in the treatment of post-menopausal osteoporosis]. *Teoriya i praktika sozdaniya trenazherov: nakoplenie i obrabotka informatsii, informatsionnye modeli, sredstva informatizatsii: sb. st. Mezhdunarod. konf.* [Theory and practice of creating simulators: accumulation and processing of information, information models, means of informatization: Collection of articles of International conf.]. Penza, 2015. Vol. 1. pp.75-81.

46. Elistratov D. G., Shcherbakova Yu. G., Prokofev I. A., Shishkina L. S., Radchenko L. G., Maksimova M. N., Agafonov D. V. *Povtornye perelomy kostey u detey i podrostkov, lechenie i profilaktika.* [Repeated bone fractures in children and adolescents, treatment and prevention]. *Teoriya i praktika sozdaniya trenazherov: nakoplenie i obrabotka informatsii, informatsionnye modeli, sredstva informatizatsii: sb. st. Mezhdunarod. konf.* [Theory and practice of creating simulators: accumulation and processing of information, information models, means of informatization: Collection of articles of International conf.]. Penza, 2015. Vol. 1. pp.92-96.

47. Pomazanov V. V., Kiseleva V. A., Mardanly S. G., Rogozhnikova E. P. *Trutnevyy rasplod - kak syr'e dlya proizvodstva lechebnykh i ozdorovitel'nykh preparatov.* [Drone brood as a raw material for the production of medicinal and health-improving drugs]. *Sovremennye aspekty laboratornoy dia-gnostiki i innovatsiy v meditsine: sb. mat-lov nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem.* [Modern aspects of laboratory diagnostics and innovations in medicine: Collection of articles of scientific and practical Conference with International participation]. Orekhovo-Zuevo: redaktionno-izdatel'skiy otdel GGTU, 2018. pp. 63-74.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36788763&>

48. Petrova E. V., Vakina T. N., Burmistrova L. A. *Seksual'nye disfunktsii pri trevozhno-depressivnykh rasstroystvakh.* [Sexual dysfunction in anxiety and depressive disorders] *Lechashchiy vrach = Lechaschi Vrach Journal.* 2014;(5). Available at: <https://www.lvrach.ru/2014/05/15435972/> (accessed 08.06.17).

49. Petrova E. V., Vakina T. N., Nikolaev V. M., Elistratov D. G., Trifonov V. N. *Seksual'nye disfunktsii u patsientov s trevozhno-depressivnymi rasstroystvami i vozmozhnosti ikh terapevticheskoy korrektsii.* [Sexual dysfunctions in patients with anxiety and depressive disorders and the possibility of their therapeutic correction]. *Psikhicheskoe zdorov'e naseleniya kak osnova natsional'noy bezopasnosti Rossii: mat-ly Vseross. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunarod. uchastiem.* [Mental health of the population as the basis of national security of Russia: Proceedings of the All-Russian scientific and practical Conference with International participation]. Kazan', 2012. p. 302.

50. Vakina T. N., Petrova E. V., Trifonov V. N., Krutyakov E. N., Fedorov A. V., Andreeva E. S., Tolbina G. A. A way to restore sexual desire (libido) in men, by using a dietary supplement to restore sexual desire (libido) for men. patent Russian Federation no. 2496491. 2013.

URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002496491_20131027_C1_RU?page=1&rotate=0&theme=white

Сведения об авторах

✉ Митрофанов Дмитрий Викторович, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства», ул. Почтовая, д. 22, Рязанская обл., г. Рыбное, Российская Федерация, 391110, e-mail: rybnoebec@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9162-0584>, e-mail: dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Будникова Наталья Валентиновна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства», ул. Почтовая, д. 22, Рязанская обл., г. Рыбное, Российская Федерация, 391110, e-mail: rybnoebec@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9550-3070>

Брандорф Анна Зиновьевна, доктор с.-х. наук, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства», ул. Почтовая, д. 22, Рязанская обл., г. Рыбное, Российская Федерация, 391110, e-mail: rybnoebec@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0535-6578>

Information about the authors

✉ Dmitriy V. Mitrofanov, researcher, Federal Scientific Center of Beekeeping, st. Pochtovaya, 22, Rybnoye, Ryazan Region, Russian Federation, 391110, e-mail: rybnoebec@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9162-0584>, e-mail dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Natalya V. Budnikova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Federal Scientific Center of Beekeeping, st. Pochtovaya, 22, Rybnoye, Ryazan Region, Russian Federation, 391110, e-mail: rybnoebec@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9550-3070>

Anna Z. Brandorf, DSc in Agricultural Science, Director of the Federal Scientific Center of Beekeeping, Federal Scientific Center of Beekeeping, st. Pochtovaya, 22, Rybnoye, Ryazan Region, Russian Federation, 391110, e-mail: rybnoebec@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0535-6578>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211>

УДК 633.111.1«321»: 631.524.7

Оценка потребительских свойств зерна селекционных линий яровой мягкой пшеницы

© 2021. Т. А. Барковская ✉, О. В. Гладышева, В. Г. Кокорева

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

В работе представлены результаты изучения 10 номеров конкурсного сортоиспытания в условиях Рязанской области с целью выявления новых селекционных линий яровой мягкой пшеницы с высокими технологическими и хлебопекарными качествами. Проведенная оценка в 2017-2019 годах выявила, что по урожайности селекционные линии 1036-09H21 и 898-09H125 превысили стандарт – сорт Агата (4,47 т/га), на 0,61 и 0,48 т/га соответственно (НСР₀₅ – 0,34 т/га). За годы исследований сортообразцы формировали стекловидное, хорошо выполненное зерно с натурой 770-817 г/л, содержанием белка в зерне 14,1-16,0 % и массовой долей сырой клейковины в муке 29-41 % высокого качества (ИДК 45-75 ед.). Наибольшим потенциалом накопления белка в зерне обладали сорта Агата, РИМА, линии 539-10H163, 543-13H163 – 16,8-19,3 %. В среднем показатель «число падения» был сравнительно высокий 264-331 с, соответствовал пшенице первого и второго классов. Линии 543-13H163, 539-10H163 и 898-09H125 превысили стандарт по величине седиментации на 15-17 мл, или 35-40 %. Удельная работа деформации теста у образцов варьировала от 305 до 421 е. а., соответствовала нормативам сильных или ценных пшениц. Установлено, что объемный выход хлеба у линий 509-13H148, 539-10H163 и 543-13H163 составлял 1633-1647 см³, выше стандарта Агата на 16-17 %. Создан ценный материал 539-10H163 и 898-09H125, отвечающий требованиям мукомольных и хлебопекарных предприятий, со следующими сортовыми особенностями: натура зерна более 800 г/л, содержание белка в зерне 15-16 %, клейковины в муке – 33-34 %, показатель седиментации 58-60 мл, энергия деформации теста 389-421 е. а., объемный выход хлеба 1523-1647 см³.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L, селекция, конкурсное сортоиспытание, белок, клейковина, мука, хлебопекарные показатели

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема 0581-2019-0021).

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. Оценка потребительских свойств зерна селекционных линий яровой мягкой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):204-211. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211>

Поступила: 11.03.2021

Принята к публикации: 13.04.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Evaluation of consumer properties of grain of spring soft wheat selection lines

© 2021. Tatiana A. Barkovskaya ✉, Olga V. Gladysheva, Valeria G. Kokoreva

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article presents the results of studying 10 numbers of competitive variety testing in the Ryazan region in order to identify new breeding lines of spring soft wheat with high technological and baking indicators. The assessment carried out in 2017-2019 revealed that according to the yield the breeding lines 1036-09H21 and 898-09H125 exceeded the Agata standard variety (4.47 t/ha) by 0.61 t/ha and 0.48 t/ha, respectively (LSD₀₅ = 0.34 t/ha). Over the years of the research, the variety samples formed a glassy well-made grain with the nature of 770-817 g/l, with the protein content in the grain of 14.1-16.0 % and the mass fraction of raw gluten in the flour of 29-41 % of high quality (IDK 45-75 units). The greatest potential for protein accumulation in grain was possessed by the varieties Agata, RIMA, lines 539-10H163, 543-13H163 – 16.8-19.3 %. On the average, the falling number was relatively high 264-331 s, corresponding for wheat of the first and second classes. Lines 543-13H163, 539-10H163 and 898-09H125 exceeded the standard in terms of sedimentation value by 15-17 ml or 35-40 %. The specific work of the dough deformation in the samples varied from 305 a.u. up to 421 a.u., corresponding to the standards of strong or valuable wheat. It has been established that the volumetric yield of bread for lines 509-13H148, 539-10H163 and 543-13H163 was 1633-1647 cm³, higher than the Agat standard variety by 16-17 %. Valuable material 539-10H163 and 898-09H125 that meets the requirements of flour-grinding and bakery enterprises has been developed. It has the following varietal characteristics: grain nature is more than 800 g/l, protein content in grain is 15-16 %, gluten in flour is 33-34 %, with the sedimentation indicator of 58-60 ml, the deformation energy of the dough of 389-421 a.u., the volumetric bread yield of 1523-1647 cm³.

Keywords: *Triticum aestivum* L, breeding, competitive variety testing, protein, gluten, flour, baking indicators

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 Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0021). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Evaluation of consumer properties of grain of spring soft wheat selection lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):204-211. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211>

Received: 11.03.2021

Accepted for publication: 13.04.2021 Published online: 19.04.2021

Яровая пшеница входит в число значимых стратегических культур и ее достоинства очень велики. В частности, эта культура способна обеспечить в нашей стране производство зерна стабильно высокого качества, дальнейшее развитие перерабатывающего производства с учётом целевого назначения зерна, а также предоставить экономическую независимость для государства, коммерческую привлекательность и перспективность для зарубежного рынка [1, 2].

Достаточно часто производимое зерно при современном ведении земледелия не в полной мере соответствует требованиям переработки на продовольственные цели. В этом задействованы различные обстоятельства и факторы, в том числе большое разнообразие почвенно-климатических условий, множественность сортового состава, порой несоответствие его агроклиматическим условиям местности, неудовлетворительное состояние семеноводства, несоблюдение технологий возделывания яровой пшеницы, нарушение хранения зерна, противоречия и несоответствия в стандартах на зерно и муку, отсутствие единой системы оценки зерна по потребительским свойствам [3, 4, 5]. Мукомольные предприятия некоторых районов страны постоянно нуждаются в высококачественной пшенице [6, 7].

Одним из способов получения более продуктивных сортов с высоким уровнем качества зерна является целенаправленный отбор наиболее перспективных сортообразцов с обязательным контролем качества на ранних этапах селекции. Хорошо отселектированный сорт с высокими адаптационными свойствами способен рационально использовать агроклиматические ресурсы и реализовывать заложенный потенциал при изменяющихся условиях окружающей среды [8, 9].

Работая над созданием сортов, российские и зарубежные ученые большое внимание уделяют устойчивости к предуборочному прорастанию зерна и непосредственно числу падения Хагберга-Пертена, которое является

международным стандартом качества зерна [10, 11, 12]. В связи с этим необходимо продолжать работу по созданию новых сортов яровой мягкой пшеницы, толерантных к различным агроклиматическим условиям среды, с зерном высокого качества, пригодным для мукомольного производства [13, 14].

В данном направлении Институт семеноводства и агротехнологий ведёт работу продолжительное время, были созданы сорта яровой мягкой пшеницы, отнесённые по качеству к ценным: Московская 35 (районирован в 1975 г.), Приокская (1993 г.), Лада (1997 г.), Агата (2014 г.), Арсея (2020 г.) и сильным – сорт РИМА (2017 г.)

Цель исследований – выявить новые селекционные линии яровой мягкой пшеницы с высокими технологическими и хлебопекарными качествами в сравнении со стандартным сортом и отобрать лучшие для государственного сортоиспытания и потенциального использования в производстве.

Материал и методы. Исследования проводили в 2017-2019 гг. на опытном поле Института семеноводства и агротехнологий (филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). Объектом исследования являлись пять селекционных линий 14-16 поколений, выделившихся по хозяйственно ценным признакам в конкурсном сортоиспытании, и пять сортов селекции ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Районированный сорт Агата использовали в качестве стандарта.

Агротехника общепринятая для возделывания данной культуры. Посевы размещали по предшественнику «черный пар». Опытный участок представлен серыми тяжелосуглинистыми почвами среднего уровня плодородия.

Технологический анализ зерна образцов яровой мягкой пшеницы был проведен в ФГБУ «Центр оценки качества зерна». Хлебопекарные свойства муки и хлеба оценивали по шкале качества хлеба из пшеничной муки, классификационным нормам по хлебопекарным качествам¹.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. под общ. ред. М. А. Федина. М., 1998. 121 с.

Закладку опыта проводили по методике государственного сортоиспытания², статистическую обработку данных – по Б. А. Доспехову³. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г. Т. Селянинову⁴.

Метеорологические условия в годы исследований были различными. Относительно благоприятным для роста и развития растений яровой мягкой пшеницы и формирования урожайности был 2017 г.: сумма активных температур – 1866 °С, сумма осадков – 225,2 мм, ГТК – 1,2. Вегетационные периоды 2018 и 2019 гг. характеризовались дефицитом влаги (60 % от среднегодовых значений) и повышенными температурами воздуха. В 2018 г. сумма активных температур составила 1944 °С, в 2019 – 2187 °С, ГТК – 0,59 и 0,73 соответственно.

Результаты и их обсуждение. Приведенный в таблице 1 краткий сравнительный анализ урожайности ранее созданных сортов и перспективных линий необходим для формирования итоговой оценки образцов и понимания общего тренда селекционной работы, поскольку между урожайностью и качеством зерна существует обратная связь. Средняя урожайность в опыте составила 4,59 т/га с вариацией по образцам от 3,95 т/га у сорта Московская 35 до 5,28 т/га у сорта Арсея. Необходимо отметить, что ранее созданные сорта имели более низкую урожайность по сравнению со стандартным сортом Агата и перспективными линиями. Селекционные линии 1036-09Н21, 539-10Н163, 898-09Н125, 509-13Н148 превысили стандартный сорт на 1,6-13,6 % (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность и некоторые параметры качества зерна яровой мягкой пшеницы (2017-2019 гг.) /
Table 1 - Yield and some quality parameters of spring soft wheat grain (2017-2019)

Образец / Sample	Урожай- ность, т/га / Productivity, t / ha	Стекло- видность, % / Glassiness, %	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Содержание, % / Content, %		ИДК, ед. / IDK, units
				белок / protein	клейковина / gluten	
Московская 35 / Moskovskaya 35	<u>3,62-4,23</u> 3,95	<u>47,0-53,0</u> 50,0	<u>41,8-45,5</u> 43,2	<u>12,5-14,7</u> 13,5	<u>27-29</u> 28,0	78-90
Лада / Lada	<u>3,79-4,64</u> 4,18	<u>46,0-49,0</u> 48,0	<u>35,3-39,6</u> 37,5	<u>12,1-14,8</u> 13,3	<u>27-29</u> 28,0	81-93
Агата, ст. / Agata, st.	<u>3,94-5,23</u> 4,47	<u>50,0-52,0</u> 51,3	<u>37,9-40,9</u> 39,4	<u>14,2-17,0</u> 15,3	<u>32-37</u> 34,3	68-89
РИМА / RIMA	<u>3,59-5,31</u> 4,21	<u>49,0-51,0</u> 50,0	<u>40,4-42,3</u> 41,3	<u>14,6-16,5</u> 15,7	<u>30-31</u> 31,0	65-75
Арсея / Arseyay	<u>4,24-5,87</u> 5,28	<u>49,0-51,0</u> 50,0	<u>40,3-43,1</u> 41,6	<u>14,6-15,4</u> 15,1	<u>30-32</u> 31,0	55-76
1036-09Н21	<u>4,23-6,34</u> 5,08	<u>49,0-50,0</u> 49,3	<u>37,4-37,9</u> 37,7	<u>13,6-15,2</u> 14,4	<u>29-32</u> 30,3	56-73
539-10Н163	<u>4,39-5,22</u> 4,74	<u>50,0-51,0</u> 50,3	<u>34,3-40,2</u> 36,5	<u>14,8-19,3</u> 16,0	<u>29-41</u> 33,0	45-76
543-13Н163	<u>3,63-5,30</u> 4,46	<u>50,0-50,0</u> 50,0	<u>39,0-39,7</u> 40,1	<u>12,9-16,8</u> 15,4	<u>30-36</u> 33,0	65-71
898-09Н125	<u>4,67-5,38</u> 4,95	<u>49,0-50,0</u> 49,6	<u>42,2-46,2</u> 44,4	<u>13,5-16,4</u> 15,4	<u>33-36</u> 34,3	63-69
509-13Н148	<u>3,95-5,15</u> 4,54	<u>50,0-50,0</u> 50,0	<u>40,2-42,4</u> 41,0	<u>12,1-15,7</u> 14,1	<u>29-32</u> 30,3	61-72
Среднее / Average	4,59	49,9	40,8	14,8	31,3	59-75
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,34	0,03	0,30	0,18	0,30	

Примечания: в числителе – минимальное и максимальное значения показателя; в знаменателе – среднее значение / Notes: in the numerator – the minimum and maximum values of the indicator, in the denominator – the average value

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: ООО «Группа Компаний море», 2019. 384 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки). 5 издание, перераб. и допол. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.

⁴Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;(20):165-177.

Стекловидное зерно считается наиболее ценным, так как в нем больше протеина, чем в мучнистом [15]. По средним данным стекловидность зерна у сортообразцов составила 49-50 %, что является хозяйственно ценным признаком. Показатель стекловидности обладал сильной значимой корреляцией с числом падения ($r = 0,955$ при уровне значимости здесь и далее 0,05), заметной взаимосвязью с энергией деформации теста ($r = 0,684$). Отрицательная взаимосвязь стекловидности обнаружена с урожайностью $r = -0,533$ и натурой зерна $r = -0,702$.

Масса 1000 зерен является показателем крупности и выполненности зерна. Чем выше этот показатель, тем большее количество питательных веществ содержится в зерне пшеницы и соответственно выше его мукомольные свойства. Наибольшие показатели сформировали линии 898-09Н125 и 509-13Н148 соответственно 44,4 и 41,0 г.

В среднем за три года содержание белка в зерне у изучаемых образцов и современных сортов Агата, РИМА, Арсея было на высоком уровне и составило более 14 %. Наибольшим потенциалом по накоплению белка в зерне обладали сорта Агата, РИМА, линии 539-10Н163, 543-13Н163.

Изучаемые линии имели значительные показатели по содержанию массовой доли

сырой клейковины в муке от 29 до 41 % I группы качества в пределах min-max значений ИДК 45-76 ед., что вполне соответствует оптимальным значениям и несколько превышает по качеству стандартный сорт Агата.

В зависимости от условий года содержание белка в зерне и сырой клейковины в муке у образцов было различным с наибольшим значением в засушливом 2019 г., коэффициент вариации по содержанию белка в зерне составил 2,9-14,4 %, клейковины – 2,3-17,0 %. Наибольшую вариабельность по признакам проявила линия 539-10Н163. Выявлены значимые взаимосвязи между содержанием белка в зерне и содержанием сырой клейковины $r = 0,636$, а также стекловидностью $r = 0,790$.

Зерно селекционных линий в годы исследований формировалось хорошо выполненным, имело высокую натуру 770-817 г/л (табл. 2). Образцы слабо варьировали по данному признаку – от 0,7 % (898-09Н125) до 1,7 % (1036-09Н21). Наибольшее значение натуры зерна характерно для линий 539-10Н163 – 788-812 г/л и 898-09Н125 – 792-817 г/л. Между урожайностью и натурой была выявлена умеренная корреляционная взаимосвязь ($r = 0,394$). Значимая отрицательная взаимосвязь установлена между показателями натуры зерна и числом падения ($r = -0,507$).

Таблица 2 – Технологические и хлебопекарные показатели селекционных линий яровой мягкой пшеницы (2017-2019 гг.) /

Table 2 – Technological and baking indicators of spring soft wheat breeding lines (2017-2019)

Показатель / Indicator	Агата, см. / Agata, st	1036- 09Н21	539- 10Н163	543- 13Н163	898- 09Н125	509- 13Н148
Натура зерна, г/л / Grain nature, g/l	<u>796-812</u> 802	<u>770-802</u> 789	<u>788-812</u> 804	<u>785-810</u> 798	<u>792-817</u> 808	<u>775-806</u> 789
Седиментация, мл / Sedimentation, ml	<u>36-50</u> 43	<u>26-50</u> 40	<u>42-71</u> 60	<u>53-67</u> 58	<u>52-68</u> 58	<u>42-63</u> 51
Число падения, с / Falling number, s	<u>393-435</u> 419	<u>241-286</u> 264	<u>265-339</u> 297	<u>294-332</u> 318	<u>293-382</u> 331	<u>251-348</u> 293
Энергия деформации теста, е. а. / Dough deformation energy, a.u.	<u>439-472</u> 452	<u>233-372</u> 305	<u>292-445</u> 389	<u>324-463</u> 388	<u>347-464</u> 421	<u>301-316</u> 309
Отношение упругости теста к растяжимости / Dough elasticity to tensile ratio	<u>0,64-1,07</u> 0,91	<u>0,25-0,77</u> 0,50	<u>0,23-1,02</u> 0,68	<u>0,27-0,42</u> 0,35	<u>0,45-0,75</u> 0,64	<u>0,26-0,77</u> 0,48
Степень разжижения теста, е. ф. / Dough dilution degree, f.u.	<u>0-46</u> 28,7	<u>0-78</u> 40,7	<u>0-54</u> 18,0	<u>0-37</u> 12,3	<u>0-33</u> 11,0	<u>0-62</u> 35,0
Водопоглощение, % / Water absorption, %	<u>62-63</u> 62,1	<u>57-58</u> 57,6	<u>55-58</u> 56,3	<u>56-59</u> 57,6	<u>57-58</u> 57,8	<u>56-58</u> 56,9

Примечания: в числителе – минимальное и максимальное значения показателя; в знаменателе – среднее значение / Notes: in the numerator – the minimum and maximum values of the indicator, in the denominator – the average value

Научными исследованиями установлено, что показатель седиментации объективно характеризует свойства муки в целом и чем он выше, тем лучше качество анализируемого образца [16, 17].

Седиментационный тест показал, что его величина в среднем у селекционных линий составила 40-60 мл. Отмечено снижение этого показателя в 2018 г., особенно у линии 1036-09Н21 – более чем в 1,7 раза по сравнению с 2017 и 2019 гг. Наиболее высокая и стабильная седиментация была характерна для линий 543-13Н163, 898-09Н125, 539-10Н163 с превышением стандарта на 35-40 %.

Определение числа падения выявило некоторую разнокачественность между линиями и стандартным сортом, но в то же время практически все линии обладали оптимальным показателем числа падения для пшеничной муки и укладывались в предельные значения от 250 до 340 с ($C_v - 0,3-3,0$ %), за исключением линии 1036-09Н21, которая имела более низкое число падения. При этом следует отметить, что приближение к верхнему порогу предельного значения числа падения или превалирование над ним не является отрицательным свойством сорта, а лишь даёт новые

возможности для перерабатывающей промышленности [18].

Энергия деформации теста у образцов соответствовала нормативам сильных или ценных пшениц, варьировала в среднем от 305 до 421 е. а. ($C_v - 1,0-13,7$ %). Высокая вариабельность признака отмечена у линий 898-09Н125 и 543-13Н163. Энергия деформации теста обладала сильными значимыми связями с показателями: содержание клейковины $r = 0,848$; число падения в зерне $r = 0,836$.

Резкое снижение показателя «отношение упругости теста к растяжимости» в 2018 г. обусловлено обильными осадками во второй декаде июля: больше в 2,9 раза, чем в 2017 году и в 4,7 раза, чем в 2019 году.

Водопоглотительная способность муки в среднем за годы исследований была выше 56 %.

По результатам пробной лабораторной выпечки было установлено, что объёмный выход хлеба у изучаемых линий был выше уровня стандартного сорта и превышал нормативный показатель сильных пшениц. У стандартного сорта в среднем параметр составил 1407 см³, линии 509-13Н148, 539-Н163 и 543-13Н163 превысили его более чем на 16 % (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты пробной лабораторной выпечки хлеба из муки селекционных линий яровой мягкой пшеницы /

Table 3 – Results of test laboratory baking from the flour of spring soft wheat breeding lines

Показатель / Indicator	Агата, см. / Agata, st	1036- 09Н21	539- 10Н163	543- 13Н163	898- 09Н125	509- 13Н148
Объёмный выход хлеба, см ³ / Volumetric output of bread, cm ³	<u>1230-1530</u> 1407	<u>1200-1690</u> 1377	<u>1500-1770</u> 1647	<u>1540-1820</u> 1643	<u>1350-1620</u> 1523	<u>1500-1890</u> 1633
Формоустойчивость, мм / Form stability, mm	<u>0,36-0,63</u> 0,47	<u>0,34-0,46</u> 0,40	<u>0,41-0,45</u> 0,42	<u>0,37-0,55</u> 0,47	<u>0,41-0,46</u> 0,44	<u>0,33-0,41</u> 0,38
Общая оценка, балл / Overall assessment, points	4,4	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5

Общая хлебопекарная оценка у изучаемых линий варьировала от 4,5 до 4,6 балла, что соответствует показателям ценных и сильных пшениц.

По органолептическим и внешним показателям, т. е. поверхности хлеба, формы, цвета мякиша, все образцы соответствовали значениям стандарта и имели высокую оценку 5 баллов. По пористости мякиша изучаемые сортообразцы превысили стандарт на 0,5 балла. Линия 10309Н21 выделилась по цвету корки мякиша – 4,5 балла. Вкус и запах хлеба у стандарта и всех образцов нормальный, свойственный хлебу.

Выводы. В результате проведенных научных исследований было установлено, что наибольшим потенциалом продуктивности обладали линии 1036-09Н21, 539-10Н163, 898-09Н125, 509-13Н148 с превышением средней урожайности над стандартным сортом Агата от 1,6 до 13,6 %. Существенно превысили стандарт селекционные линии 1036-09Н21 и 898-09Н125 на 0,61 и 0,48 т/га соответственно ($НСР_{05}$ 0,34 т/га).

Проведенная оценка по технологическим и хлебопекарным свойствам муки выявила, что перспективные линии яровой пшеницы обладали лучшими качествами, чем

созданные и районированные сорта. Новые селекционные линии удовлетворяли требованиям мукомольных и хлебопекарных предприятий и при этом имели некоторую разноразнокачественность зерна. По совокупности показателей продуктивности и качества зерна выделены линии 898-09Н125 и 539-10Н163 со следующими сортовыми особенностями по качеству: натура зерна более 800 г/л, содержа-

ние белка в зерне 15-16 %, клейковины в муке 33-34 %, с показателем седиментации 58-60 мл, энергией деформацией теста 389-421 е. а., объёмным выходом хлеба 1523-1647 см³, которые можно передавать на государственное сортоиспытание (ГСИ). Выявлена наиболее продуктивная линия 1036-09Н21 с хорошими показателями качества, которую также можно рекомендовать на ГСИ.

Список литературы

1. Румянцев А. В., Глуховцев В. В., Кукушкина Л. А. Научные достижения в селекции сортов яровой мягкой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2015;(2(14)):58-63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23572880>
2. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Ломакина И. В., Рубан З. С. Технологические и хлебопекарные свойства зерна яровой мягкой пшеницы. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020;(4):14-19. DOI: <https://doi.org/10.37102/08697698.2020.212.4.003>
3. Алабушев А. В., Копусь М. М., Ионова Е. В., Дорохова Д. П. Основные причины, ведущие к несоответствию между качеством закупаемого зерна пшеницы и производством муки из нее в России. Зерновое хозяйство России. 2017;(4(52)):27-32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29924522>
4. Алтухов А. И., Завалин А. А., Милащенко Н. З., Трушкин С. В. Проблема повышения качества пшеницы в стране требует комплексного решения. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(2):32-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44078737>
5. Мелешкина Е. П. Современные требования, предъявляемые к качеству зерна пшеницы и пшеничной муки. Хлебопродукты. 2018;(10):14-15. DOI: <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2018-0-10-14-15>
6. Мельник А. Ф., Мартынов А. Ф. Формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы. Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012;(2(12)):23-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18854604>
7. Василюва Н. З., Асхадуллин Д.-л. Ф., Асхадуллин Д.-р. Ф., Багавиева Э. З., Тазутдинова М. Р., Насихова Г. Р., Хусаинова И. И. Формирование качества зерна сортов яровой мягкой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(11):42-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28140586>
8. Барковская Т. А., Гладышева О. В. Сортовые особенности формирования урожайности и технологических показателей качества зерна у сорта яровой пшеницы Агата в зависимости от уровня влагообеспеченности. Зерновое хозяйство России. 2020;(4(70)):9-13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-70-4-9-13>
9. Громова С. Н., Костылев П. И., Скрипка О. В., Подгорный С. В., Некрасова О. А. Результаты изучения образцов озимой мягкой пшеницы конкурсного испытания по урожайности и качеству зерна. Аграрная наука. 2020;(10):56-59. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-56-59>
10. Крупнов В. А., Крупнова О. В. Подходы по улучшению качества зерна пшеницы: селекция на число падения. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(5):604-612. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25123241>
11. DePauw R. M., Knox R. E., Singh A. K., Fox S. L., Humphreys D. G., Hucl P. Developing standardized methods for breeding preharvest sprouting resistant wheat, challenges and successes in Canadian wheat. Euphytica. 2012;(188):7-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0611-y>
12. Ellis S., Biddulph B., Young K. Field assessment of pre-harvest sprouting of wheat varieties in Western Australia. Available at: http://www.regional.org.au/au/asa/2012/breeding/8413_elliss.htm (accessed: 04.03.2021).
13. Василюва Н. З., Асхадуллин Д.-л. Ф., Асхадуллин Д.-р. Ф., Багавиева Э. З., Тазутдинова М. Р., Хусаинова И. И. Достижения селекции яровой мягкой пшеницы в Татарстане. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019;(2(30)):124-130. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38240551>
14. Беспалова Л. А., Мудрова А. А., Гольдварг Б. А., Боктаев М. В. Создание адаптивных сортов мягкой и твердой озимой пшеницы для республики Калмыкия. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018;(3):6-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36001817>
15. Захаров В. Г., Яковлева О. Д. Изменения качества яровой мягкой пшеницы в процессе селекции. Зерновое хозяйство России. 2016;(4):41-45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26642973>
16. Пшеничная И. А., Дорохов Б. А. Изучение седиментации в селекционном материале озимой пшеницы. Перспективы развития современных сельскохозяйственных наук: сб. научн. тр. по итогам Международ. научн.-практ. конф. Воронеж, 2015. Вып. II. С. 26-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25258948&selid=25259664>

17. Краснов И. Н., Кравченко И. А., Кравченко Н. С. Биохимические характеристики зерна и биотехнология получения продуктов переработки. Современная техника и технологии. 2016;(10(62)):86-98. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27225026>
18. Мелешкина Е. П. Современные аспекты качества зерна пшеницы. Аграрный вестник Юго-Востока. 2009;(3(3)):4-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26725175>

References

1. Rumyantsev A. V., Glukhovtsev V. V., Kukushkina L. A. *Nauchnye dostizheniya v seleksii sortov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Scientific advances in breeding varieties of spring wheat]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2015;(2(14)):58-63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23572880>
2. Aseeva T. A., Zenkina K. V., Lomakina I. V., Ruban Z. S. *Tekhnologicheskie i khlebopekarnye svoystva zerna yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Technological and baking properties of spring soft wheat grain]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 2020;(4):14-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37102/08697698.2020.212.4.003>
3. Alabushev A. V., Kopus M. M., Ionova E. V., Dorokhova D. P. *Osnovnye prichiny, vedushchie k nesootvetstviyu mezhdu kachestvom zakupaemogo zerna pshenitsy i proizvodstvom muki iz nee v Rossii*. [The main reasons of difference between the quality of bought wheat and the flour made in Russia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017;(4(52)):27-32. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29924522>
4. Altukhov A. I., Zavalin A. A., Milaschenko N. Z., Trushkin S. V. *Problema povysheniya kachestva pshenitsy v strane trebuetsya kompleksnogo resheniya*. [The problem of improving wheat quality in the country requires a complex solution]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2020;(2):32-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44078737>
5. Meleshkina E. P. *Sovremennyye trebovaniya, pred'yavlyayemye k kachestvu zerna pshenitsy i pshenichnoy muki*. [Modern requirements to the quality of wheat and wheat flour]. *Khleboprodukty*. 2018;(10):14-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2018-0-10-14-15>
6. Mel'nik A. F., Martynov A. F. *Formirovaniye urozhaynosti i kachestva zerna ozimoy pshenitsy*. [Formation of yield and quality of winter wheat grain]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik OrelGAU. 2012;(2(12)):23-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18854604>
7. Vasilova N. Z., Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Bagavieva E. Z., Tazutdinova M. R., Nasikhova G. R., Khusainova I. I. *Formirovaniye kachestva zerna sortov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Formation of grain quality of spring soft wheat varieties]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICIS. 2016;30(11):42-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28140586>
8. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V. *Sortovyye osobennosti formirovaniya urozhaynosti i tekhnologicheskikh pokazateley kachestva zerna u sorta yarovoy pshenitsy Agata v zavisimosti ot urovnya vlagoobespechennosti*. [The varietal features of the yield formation and technological indicators of grain quality of the spring wheat variety «Agata», depending on a moisture supply degree]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(4(70)):9-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-70-4-9-13>
9. Gromova S. N., Kostylev P. I., Skripka O. V., Podgornyy S. V., Nekrasova O. A. *Rezultaty izucheniya obraztsov ozimoy myagkoy pshenitsy konkursnogo ispytaniya po urozhaynosti i kachestvu zerna*. [The study results of the winter bread wheat varieties of the competitive variety testing according to productivity and grain quality]. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2020;(10):56-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-56-59>
10. Krupnov V. A., Krupnova O. V. *Podkhody po uluchsheniyu kachestva zerna pshenitsy: selektsiya na chislo padeniya*. [Approaches to improve wheat grain quality: breeding for falling number]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(5):604-612. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25123241>
11. DePauw R. M., Knox R. E., Singh A. K., Fox S. L., Humphreys D. G., Hucl P. Developing standardized methods for breeding preharvest sprouting resistant wheat, challenges and successes in Canadian wheat. *Euphytica*. 2012;(188):7-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0611-y>
12. Ellis S., Biddulph B., Young K. Field assessment of pre-harvest sprouting of wheat varieties in Western Australia. Available at: http://www.regional.org.au/au/asa/2012/breeding/8413_ellis.htm (accessed: 04.03.2021).
13. Vasilova N. Z., Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Bagavieva E. Z., Tazutdinova M. R., Khusainova I. I. *Dostizheniya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v Tatarstane*. [Achieving the breeding of spring soft wheat in Tatarstan]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2019;(2(30)):124-130. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38240551>
14. Bepalova L. A., Mudrova A. A., Goldvarg B. A., Boktaev M. V. *Sozdaniye adaptivnykh sortov myagkoy i tverдой ozimoy pshenitsy dlya respubliki Kalmykiya*. [Creation of adaptive cultivars of soft and durum winter wheat for republic of Kalmykia]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(3):6-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36001817>

15. Zakharov V. G., Yakovleva O. D. *Izmeneniya kachestva yarovoy myagkoy pshenitsy v protsesse seleksii*. [The change of quality of spring soft wheat grain during the breeding]. *Zernovoy khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2016;(4):41-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26642973>
16. Pshenichnaya I. A., Dorokhov B. A. *Izuchenie sedimentatsii v selektsionnom materiale ozimoy pshenitsy*. [Study of sedimentation in breeding material of winter wheat]. *Perspektivy razvitiya sovremennykh sel'skokhozyaystvennykh nauk: sb. nauchn. tr. po itogam Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf.* [Prospects for the development of modern agricultural sciences: Collection of scientific articles on the results of International scientific and practical Conf.]. Voronezh, 2015. Iss. II. pp. 26-29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25258948&selid=25259664>
17. Krasnov I. N., Kravchenko I. A., Kravchenko N. S. *Biokhimicheskie kharakteristiki zerna i biotekhnologiya polucheniya produktov pererabotki*. [Biochemical characteristics of grain and biotechnology of reception of products of its processing]. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii* = Modern technics and technologies. 2016;(10(62)):86-98. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27225026>
18. Meleshkina E. P. *Sovremennye aspekty kachestva zerna pshenitsy*. [Modern aspects of wheat grain quality]. *Agrarnyy vestnik Yugo-Vostoka* = Agrarian Reporter of South-East. 2009;(3(3)):4-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26725175>

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: <http://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: <http://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 Breeding Department, Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya d. 1, s. Podvyaz, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4453-0367>, e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Olga V. Gladysheva, PhD in Agricultural Science, Director, Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya d. 1, s. Podvyazye, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Valeria G. Kokoreva, junior researcher, the Breeding Department, Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya d. 1, s. Podvyaz, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-4747>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Поиск устойчивого к септориозу исходного материала яровой мягкой пшеницы и анализ наследования признака

© 2021. 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 (2017-2020 гг.) изучали 143 сорта, 115 перспективных линий и 28 гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы по степени устойчивости к септориозу листьев на фоне естественного развития инфекции. Установлено, что развитие болезни достоверно усиливалось при понижении температуры воздуха в период «всходы-кущение» ($r = -0,83...-0,96$) и увеличении суммы осадков в фазу выхода в трубку ($r = +0,87...+0,90$). Устойчивость к септориозу проявили 16,1 % коллекционных образцов. Выявлено достоверное ($r = -0,83$) снижение урожайности в среднем на 19 % у восприимчивых образцов по сравнению с устойчивыми. Наибольшую селекционную и иммунологическую ценность представляют сорта российской селекции: Тобольская, Тюменская 29, Московская 35 и МИС, среди которых раннеспелый сорт МИС обладает толерантностью к септориозу. Из нового селекционного материала выделено 13 устойчивых к септориозу линий. Выделенные по устойчивости к септориозу сорта были использованы в гибридизации. У гибридов F_1 преобладало доминирование и сверхдоминирование в наследовании устойчивости к септориозу, массы 1000 зёрен и урожайности с 1 м². Среди них выделено 8 гибридов F_1 с наибольшим значением показателей доминирования. Установлено, что наследование устойчивости к септориозу, массы 1000 зёрен и урожайности у гибридов F_1 идёт как по материнской, так и по отцовской линии. Наибольший иммунологический эффект получен при использовании сортов Дарья (Россия) и Epos (Германия). Наиболее урожайными выделились гибриды с сортом Дарья как в качестве материнской, так и отцовской формы, а также при использовании сорта Эгисар 29 (Россия) в качестве материнской формы.

Ключевые слова: устойчивость, *Zymoseptoria tritici* (Desm.), *Stagonospora nodorum* (Berk.), иммунитет, толерантность, показатель доминирования, наследование

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. 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>

Поступила: 29.01.2021

Принята к публикации: 15.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Search for the parent material of spring soft wheat resistant to septoria tritici blotch and analysis of the trait inheritance

© 2021. Anastasiya V. Kharina✉, Tatyana K. Shcheshegova

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

In 2017-2020 in the conditions of Kirov region there were studied 143 varieties, 115 perspective lines and 28 hybrids of the first generation of spring soft wheat according to the degree of resistance to septoria tritici blotch against the background of the natural development of infection. It has been established that development of the disease significantly increased with a decrease in air temperature during the «seedling-tillering» phase ($r = -0,83...-0,96$) and an increase in the amount of precipitation during «shooting» phase ($r = +0,87...+0,90$). Resistance to septoria tritici blotch was shown by 16.1 % collection samples. A significant ($r = -0,83$) decrease in yield by an average of 19 % in susceptible samples compared to resistant ones was revealed. The greatest breeding and immunological value were represented by the varieties of Russian selection: Tobolskaya, Tyumenskaya 29, Moskovskaya 35 and MIS, among which the early variety MIS was tolerant to septoria tritici blotch. Thirteen lines resistant to septoria tritici blotch were identified from the new breeding material. The varieties selected for resistance to septoria tritici blotch were used in hybridization. In F_1 hybrids domination and overdomination in the inheritance of resistance to septoria tritici blotch prevailed, as well as weight of 1000 grains and yield per 1 m². Among them, 8 hybrids F_1 with the highest values of the dominance indices were identified. It has been established, that inheritance of resistance to septoria tritici blotch, weight of 1000 grains and yield of hybrids F_1 occurs both in the maternal and paternal lines. The greatest immunological effect was obtained when using the varieties Daria (Russia) and Epos (Germany). The most productive hybrids were the variety Daria, taken as both a maternal and paternal form, as well as when using the Egisar 29 (Russia) variety as a maternal form.

Keywords: resistance, *Zymoseptoria tritici* (Desm.), *Stagonospora nodorum* (Berk.), immunity, tolerance, index of domination, inheritance

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of 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 declared no conflict of interest.

For citations: Kharina A. V., Shcheshegova T. K. 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>

Received: 29.01.2021

Accepted for publication: 15.03.2021

Published online: 19.04.2021

Все большее распространение в последние годы получает септориоз зерновых культур (*Septoria tritici* Desm., современное название – *Zymoseptoria tritici* (Desm.) и *Stagonospora nodorum* (Berk.)). Наиболее интенсивно эта болезнь поражает озимую и яровую пшеницу, считаясь самым развивающимся и вредоносным заболеванием культуры на северо-востоке европейской части России [1]. Фитопатологи [2, 3, 4] отмечают, что септориоз начал прогрессировать в России с 1970-х годов и на данный момент распространился почти на все регионы возделывания яровой мягкой пшеницы. При поражении растений септориозом уменьшается ассимиляционная поверхность листьев, снижается их фотосинтетическая активность, наблюдаются усыхание, излом стеблей и недоразвитость колосьев. Сильное поражение приводит к отсутствию семян в колосе и даже полной гибели растений. Снижение урожая зерна при позднем появлении симптомов заболевания не превышает 5-7 % [5], в годы эпифитотий потери могут достигать 40 % [2, 3, 4].

Учитывая высокую вредоносность септориоза, в странах ЕС более 70 % фунгицидов применяется для защиты пшеницы только от этой болезни [6]. Во многих регионах РФ химическая защита до сих пор остаётся наиболее применяемым методом контроля этого заболевания. В условиях сильного развития болезни избыточная химизация посевов чревата негативным влиянием на экологию. Поэтому приоритетным направлением в защите растений яровой пшеницы от септориоза является поиск и создание устойчивых сортов, что позволит снизить применение химических препаратов [7, 8]. При этом устойчивость к данному заболеванию может быть как количественной (горизонтальной), так и специфической (вертикальной) [9]. Выбор типа устойчивости на определённой географической территории определяется многими эпидемиологическими и агроэкологическими факторами. Несмотря

на то, что у пшеницы идентифицировано 22 гена устойчивости к септориозу (*Stb 1-Stb 19*, *StbWW*, *StbSm3*, *TmStb1*) [8], в производстве преимущественно возделываются сорта с более долговременной неспецифической устойчивостью. Их создание базируется на постоянном поиске форм с высокими иммунологическими и селекционно-ценными свойствами.

Цель исследований – выявить эффективные источники неспецифической устойчивости к септориозу листьев для адресной селекции яровой мягкой пшеницы и провести анализ наследования хозяйственно ценных признаков устойчивых к болезни гибридов F_1 .

Материал и методы. Исследования проводили в 2017-2020 гг. Материалом для изучения служили 143 образца яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), 115 перспективных линий селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудникова (ФАНЦ Северо-Востока) и 28 гибридов F_1 . Площадь делянок в зависимости от питомника (коллекционный, гибридный, конкурсное сортоиспытание) составляла 0,45-12,5 м²; повторность – 2-4-кратная.

Тестирование данного генофонда по устойчивости к септориозу листьев проводили в условиях естественного развития инфекции. Следует отметить, что состояние климатических факторов в годы исследований было в целом провокационным для видов *Septoria spp.*, о чём косвенным образом свидетельствует уровень ГТК (от 1,89 до 2,13) в период «выход в трубку-молочная спелость». Степень поражения индикаторных (наиболее восприимчивых) сортов достигала 82 %, а в среднем составила 50 %.

Для оценки устойчивости генофонда пшеницы использовали шкалу Saari and Prescott¹:

RR – очень высокая устойчивость (степень поражения 0-5 %);

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.

R – устойчивость (6-15 %);

M – умеренная восприимчивость (16-25 %);

S – восприимчивость (26-65 %);

SS – высокая восприимчивость (66-100 %).

Гибридизацию проводили путём кастрации пыльников с последующим принудительным опылением цветков на второй-третий день.

У гибридов F_1 рассчитывали показатель доминирования ($S(ha)$) по формуле F. Petr, K. Frey (1966) (цит. по В. И. Кривченко²):

$$S(ha) = XF_1 - Xmp/XHP - Xmp,$$

где XF_1 – процент поражения гибрида 1-го поколения; Xmp – средний арифметический процент поражения родительских форм; XHP – процент поражения наиболее устойчивого родителя.

Если $S(ha)$ составляет от 0 до +1,0 или -1,0, то это свидетельствует об уклонении признака в сторону лучшего или худшего родителя. При $S(ha)$ менее -1,0 наблюдается депрессия признака, от -1,0 до -0,5 – действие рецессивных аллелей, от -0,5 до +0,5 – аддитивное действие генов, от +0,5 до +1,0 – доминантное действие генов, более +1,0 – гетерозис.

Для статистической обработки полученных данных использовали методы дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову³ с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. В ходе корреляционного анализа установлено, что на заражение растений яровой мягкой пшеницы септориозом значимое влияние (при $P \geq 0,95$) оказывает температура воздуха в период «всходы-кущение» ($r = -0,83 \dots -0,96$) и сумма осадков в период «выход в трубку-цветение» ($r = +0,87 \dots +0,90$). На основании этого можно прогнозировать повышенное развитие болезни при низкой температуре воздуха и повышенной влажности в эти уязвимые периоды онтогенеза.

Среди коллекционных образцов высокоустойчивых к септориозу не выявлено. Степень поражения генофонда в среднем за годы испытаний составила 27,0 %, варьируя от 18,4 % в 2020 году до 38,3 % в 2017 году. Устойчивость проявили 16,1 % изученных образцов, средняя степень поражения которых составила 11,0 % (табл. 1). Отечественные сорта Московская 35, Тобольская, Воронежская 20 и Сибирская 21, характеризуются комплексной устойчивостью к септориозу, мучнистой росе и бурой ржавчине [10].

Умеренную восприимчивость показали 39,9 %, восприимчивость – 44,0 % образцов. В 2018 году степень поражения сортов Уйская, Росинка 2 и Эгисар 29 достигала 80-82 %, а в среднем за 4 года – около 50 %.

При анализе урожайности обнаружено ее снижение в среднем на 19 % у восприимчивых образцов по сравнению с устойчивыми. Выявленная тенденция подтверждается и корреляционным анализом: между развитием болезни и урожайностью установлена достоверная (при $P \geq 0,95$) отрицательная связь ($r = -0,83$).

Достоверно превышали стандарты по урожайности четыре сорта: Тобольская, Тюменская 29, Московская 35 и МИС. Раннеспелый сорт МИС обладал толерантностью к болезни, так как при степени поражения 38,3 % он на 93,3 г/м² превышал по урожайности стандарт Баженка.

Установлено, что большая часть устойчивых коллекционных образцов отечественного происхождения характеризуются среднеспелостью и относятся к разновидности *Lutescens*. В этой связи можно прогнозировать усиление болезни у сортов или отдельных биотипов с замедленным ростом и развитием в первой половине онтогенеза.

Достоверного превышения массы 1000 зёрен у высокоустойчивых среднеспелых коллекционных образцов над стандартом не выявлено. Среди раннеспелых выделился сорт Московская 35. Среднее значение этого показателя за годы исследований составило 40,6 г, варьируя от 37,2 г в 2018 до 45,5 г в 2019 году. Снижение массы 1000 зёрен у восприимчивых образцов по сравнению с группой устойчивых было несущественным ($r = +0,33$) и составило в среднем 1,2 г.

Среди новых линий селекции ФАНЦ Северо-Востока в питомнике конкурсного испытания выделены 13 перспективных линий (табл. 2).

Выявлено, что степень поражения раннеспелых линий была в среднем на 10,3 % выше, чем у среднеспелых, что согласуется с данными других авторов [11, 12, 13]. Уступали они среднеспелым линиям и по урожайности (в среднем на 26,3 г) и массе 1000 зёрен (в среднем на 3,0 г). Этот факт объясняется тем, что в течение более продолжительного периода вегетации в растении накапливается и большее количество органических веществ [14, 15].

²Кривченко В. И. Идентификация генов устойчивости пшеницы к грибным заболеваниям: методические указания. Л., 1989. 34 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

Таблица 1 – Высокопродуктивные и устойчивые к септориозу сорта яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР (2017-2020 гг.) /

Table 1 – High-yielding and septoria tritici blotch resistant cultivars of spring soft wheat from the collection of Federal Research Center The N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (2017-2020)

<i>Сорт / Cultivar</i>	<i>Разновидность / Variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>	<i>Степень поражения, % / Degree of infestation, %</i>	<i>Урожайность, г/м² / Yield, g/m²</i>	<i>Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, g</i>
Раннеспелые / Early-ripening					
Баженка – ст. / Bazhenka – st.	<i>Milturum</i>	Кировская обл. / Kirov region	23,6	358,6	41,3
Уральская Кукушка / Uralskaya Kukushka	<i>Erythro-spermum</i>	Челябинская обл. / Chelyabinsk region	12,2	410,5	36,2
Тюменская 29 / Tyumenskaya 29	<i>Lutescens</i>	Тюменская обл. / Tyumen region	13,0	515,2*	42,2
Московская 35 / Moskovskaya 35	-«-	Московская обл. / Moscow region	12,7	506,8*	44,3*
Новосибирская 18 / Novosibirskaya 18	-«-	Новосибирская обл. / Novosibirsk region	13,2	401,2	38,6
МИС / MIS	-«-	Московская обл. / Moscow region	38,3	451,9*	36,9
Среднее по группе / Average by group	-	-	27,0	298,9	38,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	92,4	2,5
Среднеспелые / Mid-ripening					
Маргарита – ст. / Margarita – st.	<i>Lutescens</i>	Ульяновская обл. / Ulyanovsk region	16,3	432,4	47,8
Терция / Terciya	-«-	Омская обл. / Omsk region	4,4	363,2	38,4
Нива 2 / Niva 2	-«-	-«-	4,4	419,4	41,8
Тобольская / Tobolskaya	-«-	Алтайский край / Altai Krai	10,5	556,9*	44,1
Воронежская 20 / Voronezhskaya 20	-«-	Воронежская обл. / Voronezh region	14,9	467,6	41,0
Сибирская 21 / Sibirskaya 21	-«-	Новосибирская обл. / Novosibirsk region	13,3	485,1	42,2
Epos	-«-	Германия / Germany	4,4	404,6	37,8
Xenos	-«-	-«-	10,0	448,6	42,4
Yun Mai 27	<i>Erythro-spermum</i>	-«-	14,2	390,6	42,5
Степная 50 / Stepnaya 50	<i>Albidum</i>	Казахстан / Kazakhstan	47,8	413,2	44,7
Росинка 2 / Rosinka 2	<i>Lutescens</i>	СибНИИСХ / Sib SRIA	41,1	406,0	40,6
Ростань / Rostan	-«-	Беларусь / Belarus	40,7	407,6	37,6
Эгисар 29 – индикатор / Egisar 29 - indicator	<i>Lutescens</i>	Самарская обл. / Samara Region	49,9	344,8	39,7
Среднее по группе / Average by group	-	-	16,7	325,2	41,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	84,4	4,3

* достоверно на 5%-ном уровне / * significant at the 5% level

Таблица 2 – Перспективные и устойчивые к септориозу линии яровой мягкой пшеницы (2017-2020 гг.) /
 Table 2 – Perspective and septoria tritici blotch resistant lines of spring soft wheat (2017-2020)

Линия (родословная) / Lines (pedigree)	Разновид- ность / Variety	Степень по- ражения, % / Degree of infestation, %	Урожай- ность, г/м ² / Yield, g/m ²	Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, g
Раннеспелые / Early-ripening				
Баженка – ст. / Bazhenka – st.	Milturum	23,6	275,3	35,4
H-154 (Приокская х Омега) х Росинка / N-154 (Priokskaya x Omega) x Rosinka	Lutescens	10,2	289,0	37,1
П-57 [(Рено х Приокская) х Саратовская 42] х Jara / P-57 [(Reno x Priokskaya) x Saratovskaya 42] x Jara	-«-	7,1	287,0	36,7
T-123 (Омская х Krudowka) х Дарья / T-123 (Omskaya x Krudowka) x Daria	Lutescens	10,0	268,3	38,5
Среднее по группе / Average by group	-	27,0	298,9	38,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	40,0	3,9
Среднеспелые / Mid-ripening				
Маргарита – ст. / Margarita – st.	Lutescens	16,3	340,5	44,2
T-97 (Росинка х Омега) х Приокская / T-97 (Rosinka x Omega) x Priokskaya	-«-	5,8	273,5	35,4
T-98 (Росинка х Омега) х Приокская / T-98 (Rosinka x Omega) x Priokskaya	-«-	6,8	245,5	38,5
T-99 (Росинка х Омега) х Приокская / T-99 (Rosinka x Omega) x Priokskaya	-«-	5,8	265,5	38,3
T-100 (Росинка х Омега) х Приокская / T-100 (Rosinka x Omega) x Priokskaya	-«-	5,3	289,3	37,4
C-84 WW17283 х [Омская 20 х (Энита х Омега)] / S-84 WW17283 х [Omskaya 20 х (Enita x Omega)]	-«-	7,8	312,0	43,9
T-66 (Ростань х Экада) / T-66 (Rostan x Ekada)	-«-	8,4	341,0	39,2
R-63 (Тобари х Ленинградка) х Терция / R-63 (Tobary x Leningradka) x Tertsiaia	-«-	14,4	258,0	39,4
T-79 Самсар х [(Энита х BB27377) х Омская 20] х х Приокская / T-79 Samsar х [(Enita x WW27377) х х Omskaya 20] x Priokskaya	-«-	9,1	359,7	37,9
T-141 Симбирцит х [(Рено х Приокская) х х Саратовская 42] / T-141 Simbirsit х [(Reno х х Priokskaya) x Saratovskaya 42]	-«-	6,3	359,7	40,5
У-259 (Сурэнта 1 х Алтайская 98) / U-259 (Surenta 1 x Altaiskaya 98)	Lutescens	12,0	360,0	39,0
Среднее по группе / Average by group	-	16,7	325,2	41,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	43,0	3,9

Две раннеспелые линии (H-154 и П-57) превысили по урожайности стандарт Баженка на 13,7 и 11,7 г/м² и четыре среднеспелые (Т-66, Т-79, Т-141, У-259) – стандарт Маргарита на 0,5-19,5 г/м². Однако эти изменения статистически не доказаны. Раннеспелые линии превышали по массе 1000 зёрен стандарт Баженка на 1,3-3,1 г, в группе среднеспелых

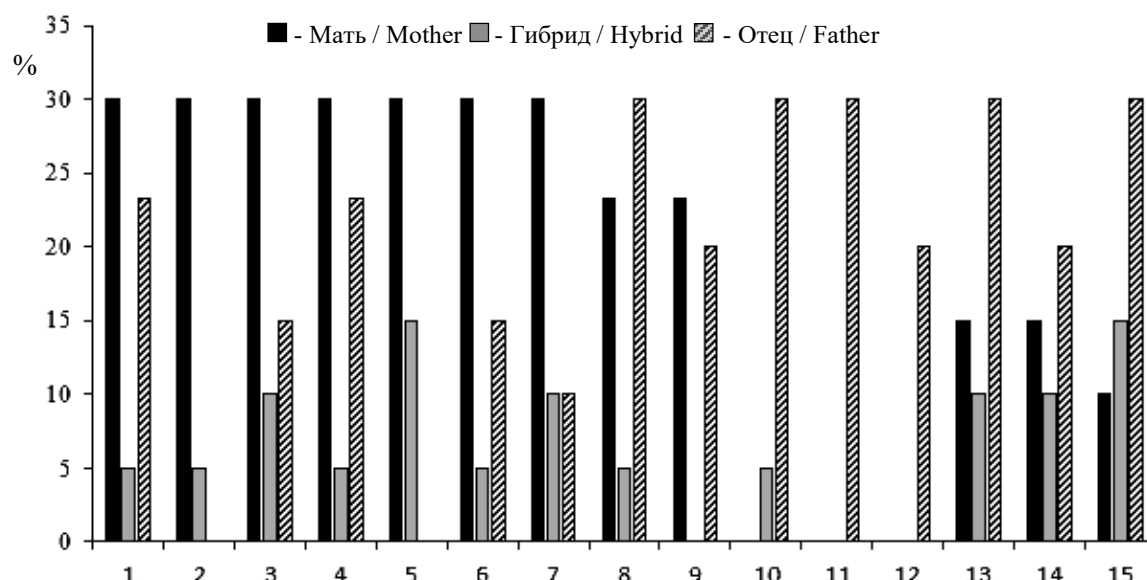
лишь одна линия С-84 была на уровне стандарта Маргарита.

Выделенные в коллекционном и селекционном материале источники устойчивости в 2019 году были использованы в гибридизации. Получены семена первого поколения по 28 комбинациям скрещивания, и проведена иммунологическая и селекционная оценка

гибридов F_1 . Так, степень поражения септориозом варьировала от 0 до 40 %. В среднем по гибридным линиям состояние признака было на 4,4 % ниже, чем у родительских форм, так как гибриды первого поколения чаще всего превосходят родительские формы по хозяйственно ценным признакам.

Показатель доминирования устойчивости у гибридов F_1 был различным. Эффект

гетерозиса проявился у половины изученных гибридов при значении $S(ha)$ от +1,15 (Росинка 2 х Терция) до +3,91 (Дарья х UL Alta Blanca) (рис. 1). Доминантное действие генов выявлено у гибридных линий Терция х Степная 50, Терция х Эгисар 29, Терция х Росинка 2, Нива 2 х Эгисар 29, Нива 2 х Росинка 2, Росинка 2 х Ерос при значении $S(ha)$ от +0,52 до +0,85.



Гибридные линии: 1 – Эгисар 29 х Дарья; 2 – Эгисар 29 х Ерос; 3 – Эгисар 29 х Нива 2; 4 – Росинка 2 х Дарья; 5 – Росинка 2 х Ерос; 6 – Росинка 2 х Нива 2; 7 – Росинка 2 х Терция; 8 – Дарья х Росинка 2; 9 – Дарья х UL Alta Blanca; 10 – Ерос х Эгисар 29; 11 – Ерос х Росинка 2; 12 – Ерос х UL Alta Blanca; 13 – Нива 2 х Степная 50; 14 – Нива 2 х UL Alta Blanca; 15 – Терция х Росинка 2 / Hybrid lines: 1 – Egisar 29 x Daria; 2 – Egisar 29 x Epos; 3 – Egisar 29 x Niva 2; 4 – Rosinka 2 x Daria; 5 – Rosinka 2 x Epos; 6 – Rosinka 2 x Niva 2; 7 – Rosinka 2 x Tertsia; 8 – Daria x Rosinka 2; 9 – Daria x UL Alta Blanca; 10 – Epos x Egisar 29; 11 – Epos x Rosinka 2; 12 – Epos x UL Alta Blanca; 13 – Niva 2 x Stepnaya 50; 14 – Niva 2 x UL Alta Blanca; 15 – Tertsia x Rosinka 2

Рис. 1. Степень поражения септориозом листьев высокоустойчивых гибридов F_1 и родительских форм яровой мягкой пшеницы, % /

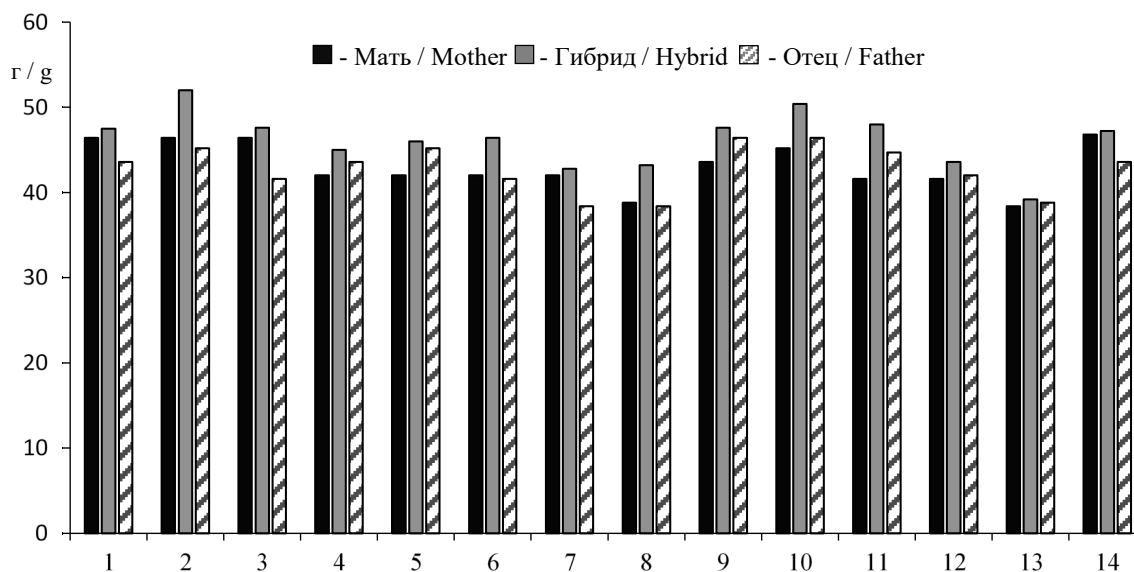
Fig. 1. Degree of septoria tritici blotch infestation of highly resistant hybrids F_1 and parental forms spring soft wheat, %

Гибриды: Эгисар 29 х Терция, Степная 50 х Нива 2, Степная 50 х Терция, Степная 50 х Дарья и Степная 50 х Ерос проявили промежуточное наследование признака ($S(ha) = -0,10...+0,38$), вызванное, вероятно, аддитивными эффектами генов. Депрессия по устойчивости к септориозу наблюдалась у гибридной линии UL Alta Blanca х Терция ($S(ha) = -1,26$), в то время как у обратного гибрида Терция х UL Alta Blanca выявлено действие рецессивных генов ($S(ha) = -0,44$). Это объясняется тем, что степень доминирования не константна, она зависит от внешней среды и действия генов-модификаторов и может варьировать в разных генотипических средах⁴.

В целом выявлено, что устойчивость гибридов яровой мягкой пшеницы к септориозу передаётся как по материнской, так и по отцовской линии. Наибольший иммунологический эффект получен при использовании сортов Дарья и Ерос.

По массе 1000 зёрен судят о полноценности семян и выходе готовой продукции. У изученных гибридов F_1 этот признак в среднем составил 44,0 г, варьируя от 36,4 г (UL Alta Blanca х Нива 2) до 52,0 г (Эгисар 29 х Ерос). Судя по показателю доминирования, гетерозис наблюдался у 14 гибридов F_1 : $S(ha)$ от +1,0 (Ерос х Росинка 2) до +23,0 (Росинка 2 х Нива 2) (рис. 2).

⁴Гуляев Г. В., Мальченко В. В. Словарь терминов по генетике, цитологии, селекции, семеноводству и семеноведению. М.: Россельхозиздат, 1975. 215 с.



Гибридные линии: 1 – Эгисар 29 х Дарья; 2 – Эгисар 29 х Ерос; 3 – Эгисар 29 х Нива 2; 4 – Росинка 2 х Дарья; 5 – Росинка 2 х Ерос; 6 – Росинка 2 х Нива 2; 7 – Росинка 2 х Терция; 8 – UL Alta Blanca х Терция; 9 – Дарья х Эгисар 29; 10 – Ерос х Эгисар 29; 11 – Нива 2 х Степная 50; 12 – Нива 2 х Росинка 2; 13 – Терция х UL Alta Blanca; 14 – Степная 50 х Дарья / Hybrid lines: 1 – Egisar 29 x Daria; 2 – Egisar 29 x Epos; 3 – Egisar 29 x Niva 2; 4 – Rosinka 2 x Daria; 5 – Rosinka 2 x Epos; 6 – Rosinka 2 x Niva 2; 7 – Rosinka 2 x Tertsia; 8 – UL Alta Blanca x Tertsia; 9 – Daria x Egisar 29; 10 – Epos x Egisar 29; 11 – Niva 2 x Stepnaya 50; 12 – Niva 2 x Rosinka 2; 13 – Tertsia x UL Alta Blanca; 14 – Stepnaya 50 x Daria

Рис. 2. Средние значения родительских форм и гибридов F_1 яровой мягкой пшеницы по массе 1000 зёрен, г /

Fig. 2. Average values of parental forms and hybrids F_1 spring soft wheat according to the weight of 1000 grains, g

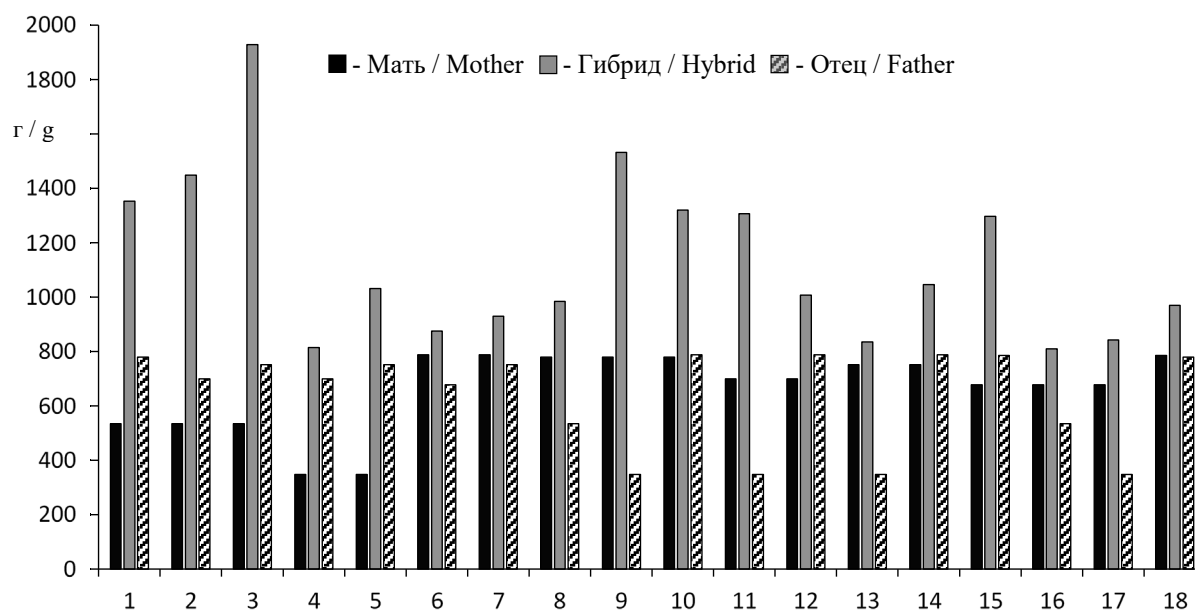
Масса 1000 зёрен у этих гибридов превышала родительские формы на 1,6...6,2 г. Доминантное действие генов обнаружено у гибридных линий: Терция х Росинка 2 ($S(ha) = +0,56$); Эгисар 29 х Терция ($S(ha) = +0,8$); Дарья х Росинка 2 ($S(ha) = +0,88$). Возможное аддитивное действие генов при $S(ha)$ от -0,41 до +0,30 отмечено у гибридных линий: UL Alta Blanca х Ерос; Степная 50 х Терция; Нива 2 х Эгисар 29; Терция х Эгисар 29; Терция х UL Alta Blanca. Действие рецессивных генов наблюдали у линий Дарья х UL Alta Blanca, Нива 2 х UL Alta Blanca, Терция х Степная 50 при $S(ha)$ от -1,0 до -0,43. Депрессия признака отмечена у линий Степная 50 х Нива 2 и UL Alta Blanca х Нива 2 при $S(ha) = -2,23$ и -2,72 соответственно.

В целом выявлено, что крупное зерно наследуется как от материнской, так и от отцовской формы. Особенно крупным зерном отличались гибриды Эгисар 29 х Ерос (52,0 г) и Ерос х Эгисар 29 (50,4 г).

Урожайность с 1 м² у гибридов F_1 составила в среднем 948,8 г, варьируя от 361,5 (Степная 50 х Ерос) до 1928,7 г (Эгисар 29 х Нива 2). Гибридные линии превосходили родительские формы по урожайности в среднем на 278,6 г (рис. 3).

Среди них гибрид Эгисар 29 х Нива 2 превышал отцовскую форму (750,7 г) в 1,5 раза, материнскую (1394,7 г) в 4 раза; значение $S(ha)$ составило +11,87, что говорит о сверхдоминировании. У 20 гибридных линий отмечен гетерозис по признаку урожайности с 1 м² при показателе доминирования от +1,0 (Росинка 2 х Дарья) до +62,43 (Степная 50 х Дарья). У линии Ерос х Эгисар 29 наблюдалось доминантное действие генов ($S(ha) = +0,91$). Промежуточное действие генов отмечено у гибридов Росинка 2 х Терция ($S(ha) = +0,38$) и Нива 2 х Эгисар 29 ($S(ha) = -0,07$). Депрессия признака ($S(ha) = -1,5...-13,23$) выявлена у линий: Терция х UL Alta Blanca, Степная 50 х Терция, Степная 50 х Ерос, Нива 2 х Степная 50 и Степная 50 х Нива 2. Наиболее урожайными оказались гибриды с сортом Дарья, который использовали, как в качестве материнской, так и отцовской формы. Высокоурожайные гибриды получены также при использовании сорта Эгисар 29 в качестве материнской формы.

Таким образом, выделено 8 высокоустойчивых реципрокных гибридов F_1 , характеризующихся другими хозяйственно ценными признаками (табл. 3).



Гибридные линии: 1 – Эгисар 29 х Дарья; 2 – Эгисар 29 х Ерос; 3 – Эгисар 29 х Нива 2; 4 – Росинка 2 х Ерос; 5 – Росинка 2 х Нива 2; 6 – UL Alta Blanca х Терция; 7 – UL Alta Blanca х Нива 2; 8 – Дарья х Эгисар 29; 9 – Дарья х Росинка 2; 10 – Дарья х UL Alta Blanca; 11 – Ерос х Росинка 2; 12 – Ерос х UL Alta Blanca; 13 – Нива 2 х Росинка 2; 14 – Нива 2 х UL Alta Blanca; 15 – Терция х Степная 50; 16 – Терция х Эгисар 29; 17 – Терция х Росинка 2; 18 – Степная 50 х Дарья / Hybrid lines: 1 – Egisar 29 x Daria; 2 – Egisar 29 x Epos; 3 – Egisar 29 x Niva 2; 4 – Rosinka 2 x Epos; 5 – Rosinka 2 x Niva 2; 6 – UL Alta Blanca x Tertsia; 7 – UL Alta Blanca x Niva 2; 8 – Daria x Egisar 29; 9 – Daria x Rosinka 2; 10 – Daria x UL Alta Blanca; 11 – Epos x Rosinka 2; 12 – Epos x UL Alta Blanca; 13 – Niva 2 x Rosinka 2; 14 – Niva 2 x UL Alta Blanca; 15 – Tertsia x Stepnaya 50; 16 – Tertsia x Egisar 29; 17 – Tertsia x Rosinka 2; 18 – Stepnaya 50 x Daria

Рис. 3. Средние значения родительских форм и высокопродуктивных гибридов F_1 яровой мягкой пшеницы по урожайности с 1 м², г /

Fig. 3. Average values of parental forms and highly productive hybrids F_1 spring soft wheat according to the yield per 1 m², g

Таблица 3 – Наследование хозяйственно ценных признаков у высокоустойчивых к септориозу гибридов F_1 яровой мягкой пшеницы /

Table 3– Inheritance of economically-valuable traits in highly resistant to septoria tritici blotch hybrids F_1 spring soft wheat

Происхождение / Origin	Устойчивость, % / Resistance, %				Масса 1000 зёрен / Weight of 1000 grains		Урожайность с 1 м ² / Yield, per 1 m ²	
	♀	♂	F_1	$S(ha)$	г/г	$S(ha)$	г/г	$S(ha)$
Эгисар 29 х Дарья / Egisar 29 x Daria	70	76,7	95	+2,50	47,5	+1,79	1352,4	+5,67
Эгисар 29 х Ерос / Egisar 29 x Epos	70	100	95	+1,24	52,0	+10,3	1448,4	+10,06
Ерос х Эгисар 29 / Epos x Egisar 29	100	70	95	+1,24	50,4	+7,67	691,5	+0,91
Росинка 2 х Ерос / Rosinka 2 x Epos	70	100	95	+0,67	46,0	+1,5	813,9	+1,65
Ерос х Росинка 2 / Epos x Rosinka 2	100	70	100	+1,52	45,2	+1,0	1307,1	+4,45
Ерос х UL Alta Blanca	100	80	100	+1,67	40,7	-0,41	1006,5	+5,98
Дарья х Росинка 2 / Daria x Rosinka 2	76,7	70	95	+2,46	43,5	+0,88	1532,4	+4,49
Дарья х UL Alta Blanca / Daria x UL Alta Blanca	76,7	80	100	+3,91	38,8	-1,0	1320,0	+13,40

В наследовании устойчивости к септориозу листьев у реципрокных гибридов преобладало сверхдоминирование: ($S(ha) = +1,24... +3,91$) за исключением гибрида Росинка 2 х Ерос с доминантным действием генов ($S(ha) = +0,67$). Установлено, что наследование устойчивости к септориозу идёт как по материнской, так и по отцовской линии.

По массе 1000 зёрен большинство гибридов показали гетерозис ($S(ha) = +1,0... +10,3$). Доминантное действие генов ($S(ha) = +0,88$) проявилось у линии Дарья х Росинка 2, действие рецессивных генов ($S(ha) = -0,41$) – у линии Ерос х UL Alta Blanca. У линии Дарья х UL Alta Blanca обнаружена депрессия ($S(ha) = -1,0$) в наследовании признака «крупность зерна».

У всех высокоустойчивых линий яровой мягкой пшеницы наблюдали сверхдоминирование ($S(ha) = +1,65... +10,06$) по признаку «масса зерна с 1 м²» за исключением линии Ерос х Эгисар 29 с доминантным действием генов ($S(ha) = +0,91$).

Характер наследования иммунологических и селекционных признаков позволяет скорректировать дальнейшую работу с конкретной гибридной комбинацией уже в первом поколении и тем самым ускорить процесс селекции. Так, при высоком уровне доминирования отбор в F₂ проводить нецелесообразно, селекционный отбор должен быть отложен до более поздних поколений.

Выводы. Установлено, что прогностическое значение в развитии септориоза имеют условия среды в отдельные этапы онто-

генеза растений яровой мягкой пшеницы. Понижение температуры воздуха в период «всходы-кущение» и увеличение суммы осадков в фазу «выход в трубку» достоверно усиливают развитие болезни: $r = -0,83... -0,96$ и $r = +0,87... +0,90$ соответственно.

Среди коллекционных образцов высокоустойчивых и высоковосприимчивых к септориозу листьев не обнаружено. Устойчивость к болезни проявили 16,1 % образцов (степень поражения 6,2-15,4 %). Выявлено снижение урожайности в среднем на 19 % у восприимчивых образцов по сравнению с устойчивыми и обнаружена достоверная связь ($r = -0,83$) между развитием болезни и урожайностью.

Наибольшую селекционную и иммунологическую ценность представляют сорта российской селекции: Тобольская, Тюменская 29, Московская 35 и МИС, среди которых раннеспелый сорт МИС обладает толерантностью к септориозу.

Из нового селекционного материала выделено 13 устойчивых к септориозу линий, шесть из которых (Н-154, П-57, Т-66, Т-79, Т-141, У-259) несущественно превышали стандарты по урожайности.

В наследовании признаков «устойчивость к септориозу», «масса 1000 зёрен» и «урожайность с 1 м²» у гибридов F₁ преобладало доминирование и сверхдоминирование. Выделено 8 гибридов F₁ с наибольшим значением показателей доминирования. Установлено, что наследование этих признаков у гибридов F₁ идёт как по материнской, так и по отцовской линии.

Список литературы

1. Шешегова Т. К., Волкова Л. В., Щеклеина Л. М. Коллекция ВИР как резерв устойчивого к септориозу генофонда яровой мягкой пшеницы. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019;5(1(17)):57-66. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-1-57-65>
2. 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):69-80.
3. 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>
4. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорта пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции Grin (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):561-569. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29676764>
5. Giligan C. A. Sustainable agriculture and plant diseases: An epidemiological perspective. J Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2008;363(1492):741-759. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2181>

6. Fones H., Gurr S. The impact of *Septoria tritici* blotch disease on wheat: An EU perspective. *J Fungal Genetics and Biology*. 2015;79:3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>
7. 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.
8. 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>
9. Пахолкова Е. В., Сальников Н. И., Куркова Н. А. Генетическая структура региональных популяций *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) – возбудителя септориоза пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):722-730. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.722rus>
10. 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>
11. Пожерукова В. Е., Шаманин В. П., Гладких М. С., Чурсин А. С., Гультеяева 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>
12. 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>
13. 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>
14. 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>
15. Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С. Роль генотипа и погодных условий в формировании морфобиологических и хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы. Таврический вестник аграрной науки. 2020;(3(23)):43-58. DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58>

References

1. Sheshegova T. K., Volkova L. V., Shchekleina L. M. *Kollektsiya VIR kak rezerv ustoychivogo k septoriozu genofonda yarovoy myagkoy pshenitsy*. [VIR's collection as a reserve of the springsoft wheat gene poolresistant to septoriosis]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: «Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2019;5(1(17)):57-66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-1-57-65>
2. Sanin S. S., Nazarova L. N., Strizhekozin Yu. A., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M., Koporova 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):69-80. (In Russ.).
3. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Skatenok O. O., Pakholkova E. V. *Sozдание 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>
4. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. *Sorta pshenitsy (Triticum L.) iz kollektsii Grin (SShA) dlya ispol'zovaniya v selektsii 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.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29676764>
5. Giligan C. A. Sustainable agriculture and plant diseases: An epidemiological perspective. *J Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008;363(1492):741-759. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2181>
6. Fones H., Gurr S. The impact of *Septoria tritici* blotch disease on wheat: An EU perspective. *J Fungal Genetics and Biology*. 2015;79:3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>
7. Sanin S. S., Sanina A. A., Motovilin A. A., Pakholkova E. V., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M. *Zashchita pshenitsy ot septorioza*. [Protection of wheat from *Septoria tritici* blotch]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012;(4):61-82. (In Russ.).
8. Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh A. A. *Septorioz list'ev i kolosa pshenitsy: geneticheskiy 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>

9. Pakholkova E. V., Sal'nikov N. I., Kurkova N. A. *Geneticheskaya struktura regional'nykh populyatsiy Mycosphaerella graminicola (Septoria tritici) – vozбудitelya septorioza pshenitsy (Triticum aestivum L.)*. [Genetic structure of regional populations of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*), the septoria leaf blotch agent of wheat]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2016;51(5):722-730. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.722rus>
10. Volkova L. V., Sheshhegova T. K. *Urozhaynost' i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh yarovoy pshenitsy pri porazhenii septoriozom*. [Crop yield and concentration of photosynthetic pigments in the leaves of the spring wheat when they are 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>
11. Pozherukova V. E., Shamanin V. P., Gladkikh M. S., Chursin A. S., Gul'tyaeva E. I. *Otsenka kollektzii 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>
12. 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>
13. Ageeva E. V., Likhchenko 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>
14. 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>
15. Volkova L. V., Lisitsyn E. M., Amunova O. S. *Rol' genotipa i pogodnykh usloviy v formirovaniy morfobiologicheskikh i khozyaystvenno tsennyykh priznakov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Role of genotype and weather conditions in the formation morphobiological and economically valuable traits of spring soft wheat]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki = Taurida herald of the agrarian sciences*. 2020;(3(23)):43-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58>

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 биологических 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/0000-0003-2371-49>

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

Tatyana K. Sheshhegova, DSc in Biology, leading researcher, Head of the Laboratory of Immunity and Plant Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2371-49>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.223-233>

УДК 631.153.3:632.911.4

Влияние средств химизации на продуктивность севооборотов с бобовыми и злаковыми травами в условиях неустойчивого увлажнения юга Нечерноземья России

© 2021. Л. Н. Прокина✉, С. В. Пугаев

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

В статье обобщены результаты исследований (1990-2012 гг.), проведенных в стационарном опыте на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях Республики Мордовия. Объект исследования – два севооборота (зернотравяно-паропропашной и зернотравяно-пропашной), в которых в качестве бобового компонента использовали люцерну посевную сорта Вега 87, злакового – костреч безостый сорта Пензенский 1. Установлено, что минеральные удобрения в зернотравяно-паропропашных севооборотах с бобовыми травами увеличивали продуктивность на 0,34-0,55, со злаковыми – на 0,31-0,73 т корм. ед./га, что позволило получить дополнительный доход от 1,19 до 1,40 и 1,09 до 1,47 руб/руб соответственно. Рекомендуемые дозы минеральных удобрений на фоне известкования почвы по 0,5 гидролитической кислотности (г. к.) составили для зернотравяно-паропропашного севооборота с люцерной $N_{22-39}P_{42}K_{52}$, с костречом – $N_{27-71}P_{42}K_{52}$. В зернотравяно-пропашном севообороте с бобовым и злаковым компонентами окупаемость 1 кг д. в. полного минерального удобрения составила 6,13 и 6,17 кг корм. ед., дополнительный доход – 2,00 и 1,99 руб/руб, продуктивность увеличилась на 0,86-1,08 и 0,84-1,22 т корм. ед./га соответственно. Окупаемость 1 кг д. в. азота в составе полного минерального удобрения в данном севообороте составила в среднем 13,04 кг корм. ед. против 11,5 кг в бобовом. Рекомендуемые дозы минеральных удобрений: $N_{26-87}P_{46}K_{65}$ на фоне известкования почвы по 0,5-1,0 г. к. В севообороте с костречом из-за низкого дополнительного дохода (0,97-1,07 руб/руб) фосфорно-калийные удобрения вносить нецелесообразно.

Ключевые слова: минеральные удобрения, известкование, окупаемость, дополнительный доход, кормовая единица

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0100).

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прокина Л. Н., Пугаев С. В. Влияние средств химизации на продуктивность севооборотов с бобовыми и злаковыми травами в условиях неустойчивого увлажнения юга Нечерноземья России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):223-233. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.223-233>

Поступила: 18.02.2021

Принята к публикации: 26.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

The effect of chemical agents on the productivity of crop rotations with legumes and cereals in the conditions of unstable moisture in the south of the Non-Black Soil Zone of Russia

© 2021. Lyudmila N. Prokina✉, Sergey V. Pugaev

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

The article summarizes the results of 1990-2012 research conducted during the stationary experiment on leached heavy loam chernozem in the Republic of Mordovia. The objects of the study are two crop rotations (grain-grass-fallow and grain-grass crop rotations) where alfalfa of the VEGA 87 variety was used as a bean component, smooth brome (*Bromus inermis*) Penza 1 was used as a grain component. It has been established that mineral fertilizers in grain-grass-fallow crop rotations with legumes increased productivity by 0.34-0.55, with cereals – by 0.31-0.73 tons of feed units/ha. That provided to get additional income from 1.19 to 1.40 and 1.09 to 1.47 rub/rub, respectively. Recommended doses of mineral fertilizers against soil liming by 0.5 hydrolytic acidity (h.a.) were $N_{22-39}P_{42}K_{52}$ for grain-grass-fallow crop rotation with alfalfa and $N_{27-71}P_{42}K_{52}$ with smooth brome. In the grain-grass crop rotation with legume and cereal components the payback of 1 kg active ingredient (a.i.) of complete mineral fertilizer was 6.13 and 6.17 kg feed units, additional income was 2.00 and 1.99 rub/rub, the productivity increased by 0.86-1.08 and 0.84-1.22 tons of feed units/ha, respectively. The payback of 1 kg of a. i. nitrogen as part of a complete mineral fertilizer in this crop rotation averaged 13.04 kg feed units versus 11.5 kg in legumes. Recommended doses of mineral fertilizers were $N_{26-87}P_{46}K_{65}$ against the background of liming of the soil by 0.5-1.0 h. a. In crop rotation with smooth brome phosphorus-potash fertilizers should not be applied due to the low additional income (0.97-1.07 rub/rub).

Keywords: mineral fertilizers, liming, payback, additional income, feed unit

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0100).

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

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

For citations: Prokina L. N., Pugaev S. V. The effect of chemical agents on the productivity of crop rotations with legumes and cereals in the conditions of unstable moisture in the south of the Non-Black Soil Zone of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):223-233. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.223-233>

Received: 18.02.2021

Accepted for publication: 26.03.2021

Published online: 19.04.2021

В современном сельскохозяйственном производстве не представляется возможным повышение его продуктивности без применения минеральных удобрений, которые остаются важнейшим фактором роста урожайности сельскохозяйственных культур (от 30 до 50-60 %), сохраняя и повышая плодородие почвы [1, 2]. Применение удобрений на черноземах выщелоченных в условиях юга лесостепи Нечерноземья существенно повышает урожайность отдельных сельскохозяйственных культур и продуктивность севооборотов в целом. В зернопропашном севообороте наиболее эффективно внесение минеральных удобрений в умеренных дозах ($N_{45-65}P_{45-60}K_{30-50}$) отдельно или в сочетании с навозом (5-6 т/га в год) [3]. Минеральные удобрения были наиболее окупаемыми в зернотравяно-пропашных севооборотах с люцерной и кострцом в дозах $N_{26-59}P_{46}K_{65}$ [4]. Внесение высоких доз удобрений, как правило, не всегда обеспечивает адекватного с умеренными дозами повышения урожайности культур.

В настоящее время основное требование к системе удобрения сельскохозяйственных культур – это повышение их окупаемости, снижение затрат на применение и эффективное использование достигнутого потенциала. В условиях неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья на черноземе обыкновенном наиболее высокая продуктивность севооборота (в среднем за 5 ротаций составила 2,9-3,04 тыс. з. е. /га, или 23-29 % к контролю) была достигнута при внесении полного минерального удобрения. В качестве оптимальной дозы удобрений рекомендуется внесение 60 кг/га фосфора отдельно и на фоне НК, а также 60 кг/га азота на фоне РК. Систематическое применение азотных удобрений без улучшения фосфорного режима почвы малоэффективно [5].

В научном мире растет интерес к достижению сбалансированных систем питания растений и проводится много исследований, направленных на вовлечение в агроценозы

биологического азота [6]. При введении бобовых культур в севообороты в качестве предшественника или смешанных посевов, благодаря их азотфиксирующей способности, происходит накопление биологического азота, что в свою очередь позволяет сократить нормы вносимых удобрений [7, 8]. Специфика данных севооборотов требует особого внимания при использовании удобрений, особенно минеральных. В Ростовской области на черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом для максимально эффективного использования посевной площади зернотравяного севооборота (люцерна 2 г. п.) рекомендуют вносить полное минеральное удобрение в дозе $N_{60}P_{36}K_{60}$, способствующей увеличению его продуктивности на 34,8 %, или до 37,2 ц з. е. /га (контроль 27,6 ц з. е./га) [9].

Проведение исследований на основе длительных опытов, осуществляемых в одном регионе, дает возможность выявить наиболее удачные технологические приемы и условия, обеспечивающие адаптацию систем земледелия к условиям региона [10].

В связи с этим длительные стационарные полевые опыты являются важным источником получения информации о влиянии систем минерального питания растений и элементов биологического земледелия на урожай. Наиболее результативные системы могут служить основой для разработки соответствующих нормативов по их применению, направленных на биологизацию систем земледелия посредством обоснования адаптивной структуры посевных площадей, ресурсосберегающих систем удобрения с использованием сочетания биологического азота, умеренных доз и способов применения макро- и микроудобрений, химических мелиорантов [11]. В результате реформ XX века в научных учреждениях Поволжья были закрыты многие стационарные опыты, тем не менее полученные в них данные до сих пор имеют большое теоретическое и практическое значение и позволяют давать

научно обоснованные рекомендации для современного земледелия [12].

Продуктивность севооборотов на черноземах выщелоченных в условиях Мордовии изучали [4], но исследований о влиянии удобрений на фоне известкования на продуктивность севооборотов с бобовым и злаковым компонентами практически нет, что и послужило необходимостью изучения данного вопроса.

Цель исследований – на основе данных длительного стационарного опыта оценить влияние средств химизации на продуктивность севооборотов с бобовыми и злаковыми травами в условиях неустойчивого увлажнения юга Нечерноземья России.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 1990-2012 гг. в соответствии с планом НИР учреждения на базе длительного стационарного полевого опыта, заложенного в 1972-1973 гг. последовательно в двух полях по методике Б. А. Доспехова¹. Объектом исследований были два севооборота (зернотравяно-паропропашной и зернотравяно-пропашной), где многолетние травы были представлены люцерной и кострцом.

Месторасположение опыта: Республика Мордовия, Мордовский НИИСХ, опытное поле. Географические координаты: широта 54°17', долгота 45°28'. Первый стационарный участок (3,0 га) заложен в поле № 2, второй (3,2 га) – в поле № 4 агротехнического севооборота. Посевная площадь делянки составляет 157,5 м² (7,5х21 м), учетная для зерновых – 105 м² (5х21 м), для трав – 30 м² (4х7,5 м). Опыт заложен методом рендомизированных повторений и расщепленных делянок. Повторность в опыте трехкратная.

На делянках первого порядка изучали действие известкования: 1 – без известкования с 1972 года (контроль); 2 – известкование по 0,5 гидролитической кислотности (г. к.); 3 – известкование по 1,0 г. к. В блоке второго порядка оценивали продуктивность культур в двух севооборотах – бобовом и злаковом, которые представлены люцерной и кострцом соответственно.

Последовательность культур зернотравяно-паропропашного севооборота (3-я ротация):

1-й бобовый: ячмень + люцерна – люцерна 1 г. п. – люцерна 2 г. п. – люцерна 3 г. п.

– люцерна 4 г. п. – черный пар – озимая пшеница – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – соя – яровая пшеница;

2-й злаковый: ячмень + кострец – кострец 1 г. п. – кострец 2 г. п. – кострец 3 г. п. – кострец 4 г. п. – черный пар – озимая пшеница – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – соя – яровая пшеница.

По причине изреженности и гибели растений озимой пшеницы в первой (1995 г.) и во второй (1996 г.) закладках посевы списали, и чередование культур прервали полем чистого пара.

Последовательность культур зернотравяно-пропашного севооборота (4-я ротация):

1-й бобовый: яровая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница + люцерна – люцерна 1 г. п. – люцерна 2 г. п. – люцерна 3 г. п. – озимая пшеница – яровая пшеница – соя – овес;

2-й злаковый: яровая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница + кострец – кострец 1 г. п. – кострец 2 г. п. – кострец 3 г. п. – озимая пшеница – яровая пшеница – соя – овес.

В блоке третьего порядка сравнивали действие различных уровней минерального питания на продуктивность севооборотов: 1 – без удобрений с 1972 года (контроль); 2 – фосфорно-калийные удобрения (РК – фон); 3 – фон + N₁; 4 – фон + N₂; 5 – фон + N₃. Схема внесения минеральных удобрений дана в таблице 1.

Известкование проводили один раз за ротацию севооборота перед закладкой опыта и в 2000-2001 гг. Мелиорант – известняковая мука ГУП «Атемарский завод стройматериалов». Минеральные удобрения вносили поделочно вручную в соответствии со схемой опыта: под травы фосфорно-калийные удобрения в основную обработку почвы в запас на годы пользования; азотные – ежегодно весной. Уход за посевами озимых культур и многолетних трав заключался в весеннем бороновании и обработке. Обработку гербицидами и инсектицидами проводили по мере необходимости для всех культур.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Почвообразующая порода – делювиальная глина, в которой мелкими включениями на глубине 105-110 см встречаются типичные для неё карбонатные «журавчики», образовавшиеся

¹Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

в результате выщелачивания карбонатов кальция и магния. Мощность гумусового горизонта – 50-60 см. Пахотный слой сильно выпахан, имеет пылеватую и комковато-глыбистую структуру. За гумусовым горизонтом начинается переходный

горизонт. Грунтовые воды находятся на глубине более 5 м.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытного участка перед закладкой опыта представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Внесение минеральных удобрений в опыте, кг/га д. в. (в сумме за ротацию севооборота) /
Table 1 – Application of mineral fertilizers in the experiment, kg/ha a. i. (in total for the rotation of the crop rotation)

Удобрение / Fertilizers	3-я ротация (1990-2001 гг.) / 3rd rotation (1990-2001)		4-я ротация (2001-2012 гг.) / 4rd rotation (2001-2012)	
	севооборот / crop rotation		севооборот / crop rotation	
	с люцерной / with alfalfa	с кострцом / with smooth brome	с люцерной / with alfalfa	с кострцом / with smooth brome
1. Контроль / Control	1. Без удобрений / 1. Without fertilizers		1. Без удобрений / 1. Without fertilizers	
2. PK	2. P ₄₆₀ K ₅₇₀	2. P ₄₆₀ K ₅₇₀	2. P ₅₁₀ K ₇₂₀	2. P ₅₁₀ K ₇₂₀
3. N ₁ PK	3. N ₂₄₀ P ₄₆₀ K ₅₇₀	3. N ₃₀₀ P ₄₆₀ K ₅₇₀	3. N ₂₈₅ P ₅₁₀ K ₇₂₀	3. N ₃₃₀ P ₅₁₀ K ₇₂₀
4. N ₂ PK	4. N ₄₃₀ P ₄₆₀ K ₅₇₀	4. N ₅₄₀ P ₄₆₀ K ₅₇₀	4. N ₅₅₅ P ₅₁₀ K ₇₂₀	4. N ₆₄₅ P ₅₁₀ K ₇₂₀
5. N ₃ PK	5. N ₆₂₀ P ₄₆₀ K ₅₇₀	5. N ₇₈₀ 460K ₅₇₀	5. N ₈₂₅ P ₅₁₀ K ₇₂₀	5. N ₉₆₀ P ₅₁₀ K ₇₂₀

Таблица 2 – Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы перед закладкой опыта (1972-1973 гг.) /
Table 2 – Agrochemical characteristics of the arable soil layer, before laying experiment (1972-1973)

Закладка / Laying	Гумус, % / Humus, %	pH		Hr	S	V, %	Подвижные формы, мг/кг / Movable forms mg/kg	
		водн. / wa- ter-based	сол. / saline				P ₂ O ₅	K ₂ O
1	8,7±0,5	6,3±0,1	5,4±0,1	6,2±0,3	32,6±0,8	84±2	46±4	82±7
2	8,4±0,4	6,3±0,2	5,5±0,2	6,8±0,4	34,6±1,0	84±2	74±6	156±10

Агротехника культур – рекомендованная для условий Мордовии, кроме изучаемых факторов². В опытах высевали семена районированных сортов: люцерны – Вега 87, кострца безостого – Пензенский 1, озимой пшеницы – Мироновская 808, яровой пшеницы – Прохорова и Тулайковская 10, ячменя – Зазерский 85, сои – Магева, овса – Горизонт.

Лабораторные исследования, наблюдения и анализы проводили в соответствии с принятыми методиками^{3,4}. Статистическая обработка данных выполнена методом дисперсионного анализа⁵.

Результаты и их обсуждение. Агроклиматические условия за время проведения исследований (1990-2012 гг.) были различ-

ными, но типичными для зоны неустойчивого увлажнения. Вегетационные периоды с нормальным увлажнением (ГТК = 0,90-1,26) составили 9 лет, недостаточным (ГТК = 0,61-0,89) – 11 лет. Сильно засушливыми были два года (ГТК = 0,51 и 0,32), с повышенным и избыточным увлажнением (ГТК = 1,46-2,45) – три года исследований.

Как показали результаты исследований, продуктивность севооборотов значительно различалась как при использовании средств химизации, так и без них. В третьей ротации продуктивность севооборотов в естественных условиях составляла: бобового – 1,76 т корм. ед./га, злакового – 1,47 т корм. ед./га (табл. 3).

²Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовии: методическое руководство. Под ред. А. М. Гурьянова. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2003. 428 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26117135>

³Паников В. Д. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 2. Программа и методы исследования почв. М.: ВИУА, 1983. 172 с.

⁴Доспехов Б. А. Указ. соч.

⁵Там же.

Таблица 3 – Влияние средств химизации на продуктивность зерноотравно-паропропашного севооборота, т корм. ед./га (в среднем за год) /
Table 3 – Effect of chemical agents on crop rotation productivity grain-fallow-grass, tons of feed units/ha (average per year)

Вариант / Variant																
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)		2. РК		3. N ₁ РК		4. N ₂ РК		5. N ₃ РК								
Продуктивность / Productivity																
общая / total	разница** / difference	общая / total	разница / difference	прибавка от внесения РК / increase from РК	общая / total	разница / difference	прибавка от внесения / increase		общая / total	разница / difference	прибавка от внесения / increase					
							N ₁ РК	N			N ₂ РК	N	N ₃ РК	N		
Без известкования (контроль) / Without liming (control)																
1.73* 1.46	0,27	2.07 1,78	0,29	0.34 0,32	2.24 1,98	0,26	0.51 0,52	0.17 0,20	2.23 2,16	0,07	0.50 0,70	0.16 0,38	2.26 2,20	0,06	0.53 0,74	0.19 0,42
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h. a.																
1.79 1.48	0,31	2.14 1,80	0,34	0.35 0,32	2.28 2,06	0,22	0.49 0,58	0.14 0,26	2.34 2,14	0,20	0.55 0,66	0.20 0,34	2.36 2,22	0,14	0.57 0,74	0.22 0,42
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h. a.																
1.75 1.46	0,29	2.10 1,75	0,35	0.35 0,29	2.24 2,02	0,22	0.49 0,56	0.14 0,27	2.30 2,10	0,20	0.55 0,64	0.20 0,35	2.30 2,18	0,12	0.55 0,72	0.20 0,43

*Числитель – бобовый севооборот, знаменатель – злаковый, ** разница между севооборотами с бобовым и злаковым компонентами /
*Numerator – legume crop rotation, denominator – cereal, ** difference between crop rotations with legume and cereal components

Внесение минеральных удобрений способствовало повышению продуктивности обоих севооборотов соответственно на 19-31 и 21-50 %. Как и следовало ожидать, прибавка от применения фосфорно-калийных удобрений в среднем по севообороту с люцерной получена несколько выше (0,34 т корм. ед./га), чем в злаковом (0,30 т корм. ед./га) и независимо от фона известкования.

В среднем по опыту в бобовом севообороте внесение полного минерального удобрения с различными дозами азота повышало продуктивность на 28-31 %, злаковом – на 37-50 % по сравнению с контролем (1,76 и 1,47 т корм. ед./га соответственно). От дозы азота в составе полного минерального удобрения прибавки составили 0,15-0,21 и 0,24-0,42 т корм. ед./га по сравнению с соответствующими фосфорно-калийными вариантами (2,10 и 1,78 т корм. ед./га).

Известкование почвы в севообороте с люцерной увеличивало его продуктивность на 0,03-0,07 т корм. ед./га, в злаковом – на 0,02 т корм. ед./га. В бобовом севообороте наибольшую продуктивность (2,36 т корм. ед./га) получили в варианте с внесением полного минерального удобрения с дозой N₇₁ на фоне известкования почвы по 0,5 г. к., но данный уровень азотного питания (N₃) оказался с агрономической точки менее эффективным по сравнению с вариантами, где дозы азота меньше, о чем свидетельствует расчет окупаемости 1 кг д. в. удобрений (табл. 4). Из данных таблицы видно, что более высокая окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений получена в варианте N₁РК на фоне без известкования – 4,4 кг корм. ед. и наибольший дополнительный доход – 1,45 руб/руб. С увеличением дозы азота в составе полного минерального удобрения независимо от известкования почвы в среднем окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений и дополнительный доход снижались на 8-16 и 6-18 % соответственно. Для фосфорно-калийного варианта дополнительный доход в среднем составил 1,22 руб/руб, а окупаемость 1 кг д. в. – 3,7 кг корм. ед.

Таблица 4 – Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от изучаемых факторов
(зернотравяно-паропропашной севооборот, в среднем за год) /

Table 4 – Payback of mineral fertilizers depending on the studied factors (grain-fallow-grass crop rotation. average per year)

Удобрения / Fertilizers	Продуктивность в контроле и прибавка от внесения, т корм. ед./га / Productivity under control and increase, t feed units/ha		Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers	
	PK	NPK	дополнительным количеством корм. ед., кг / additional number of feed units, kg	дополнительным доходом руб/руб / additional income of rub/rub
Севооборот с люцерной / Crop rotation with alfalfa				
Без известкования (контроль) / Without liming (control)				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	1,73	1,73	-	-
2. P ₄₂ K ₅₂	0,34	-	3,6	1,20
3. N ₂₂ P ₄₂ K ₅₂	-	0,51	4,4	1,45
4. N ₃₉ P ₄₂ K ₅₂	-	0,50	3,8	1,25
5. N ₅₆ P ₄₂ K ₅₂	-	0,53	3,5	1,13
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h. a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	1,79	1,79	-	-
2. P ₄₂ K ₅₂	0,35	-	3,7	1,23
3. N ₂₂ P ₄₂ K ₅₂	-	0,49	4,2	1,38
4. N ₃₉ P ₄₂ K ₅₂	-	0,55	4,1	1,35
5. N ₅₆ P ₄₂ K ₅₂	-	0,57	3,8	1,23
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h. a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	1,75	1,75	-	-
2. P ₄₂ K ₅₂	0,35	-	3,7	1,23
3. N ₂₂ P ₄₂ K ₅₂	-	0,49	4,2	1,38
4. N ₃₉ P ₄₂ K ₅₂	-	0,55	4,1	1,35
5. N ₅₆ P ₄₂ K ₅₂	-	0,55	3,7	1,20
Севооборот с кострцом / Crop rotation with smooth brome				
Без известкования (контроль) / Without liming (control)				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	1,46	1,46	-	-
2. P ₄₂ K ₅₂	0,32	-	3,4	1,13
3. N ₂₇ P ₄₂ K ₅₂	-	0,52	4,3	1,36
4. N ₄₉ P ₄₂ K ₅₂	-	0,70	4,9	1,54
5. N ₇₁ P ₄₂ K ₅₂	-	0,74	4,5	1,42
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h. a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	1,48	1,48	-	-
2. P ₄₂ K ₅₂	0,32	-	3,4	1,13
3. N ₂₇ P ₄₂ K ₅₂	-	0,58	4,8	1,52
4. N ₄₉ P ₄₂ K ₅₂	-	0,66	4,6	1,45
5. N ₇₁ P ₄₂ K ₅₂	-	0,74	4,5	1,42
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h. a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	1,46	1,46	-	-
2. P ₄₂ K ₅₂	0,29	-	3,1	1,03
3. N ₂₇ P ₄₂ K ₅₂	-	0,56	4,6	1,46
4. N ₄₉ P ₄₂ K ₅₂	-	0,64	4,5	1,42
5. N ₇₁ P ₄₂ K ₅₂	-	0,72	4,4	1,38

Продуктивность злакового севооборота при использовании полного минерального удобрения возрастала на 0,24-0,42 т корм. ед./га по сравнению с фосфорно-калийным вариантом (1,78 т корм. ед./га). По окупаемости варианты с полным минеральным удобрением различались незначительно: в варианте N₂₇P₄₂K₅₂ окупаемость 1 кг д. в. удобрений составила 4,6 кг корм. ед., что на 0,1 кг корм. ед. меньше и на столько же больше, чем в вариантах с N₄₉P₄₂K₅₂ и N₇₁P₄₂K₅₂ соответственно. Дополнительный доход распределился следующим образом N₄₉P₄₂K₅₂ > N₂₇P₄₂K₅₂ > > N₇₁P₄₂K₅₂ > P₄₂K₅₂, или 1,47 > 1,45 > 1,41 > 1,09 руб/руб.

Таким образом, в зернотравяно-паропропашных севооборотах минеральные удобрения способствовали росту продуктивности на 19-31 % в бобовом и на 21-50 % в злаковом, что позволило получить дополнительный доход от 1,19 до 1,40 и 1,09 до 1,47 и руб/руб соответственно.

Продуктивность севооборотов в четвертой ротации (табл. 5) различалась на 0,49 т корм. ед./га в пользу севооборота с бобовым компонентом (3,82 т корм. ед./га), где от внесения минеральных удобрений дополнительно получено 0,47-1,08 т корм. ед./га продукции по сравнению с контрольным вариантом (3,13 т корм. ед./га). Действие азота в составе полного минерального удобрения оценивалось прибавкой 0,39-0,61 т корм. ед./га в сравнении с РК вариантом (3,60 т корм. ед./га). По окупаемости 1 кг д. в. минеральных удобрений можно выделить варианты с полным минеральным удобрением с дозой азота 26 и 50 кг д. в. на фоне известкования почвы по 0,5 г. к., где величина данного показателя составила 6,4 и 6,5 кг корм. ед. (табл. 6). Здесь получили и самый высокий дополнительный доход – 2,10 и 2,11 руб/руб.

В злаковом севообороте наименьшая прибавка продуктивности получена в варианте с внесением РК удобрений (0,34 т корм. ед./га) в сравнении с контролем (2,64 т корм. ед./га).

Таблица 5 – Влияние средств химизации на продуктивность зернотравяно-пропашного севооборота, т корм. ед./га (в среднем за год) /
Table 5 – Effect of chemical agents on crop rotation productivity grain-grass, t feed units/ha (average per year)

Вариант / Variant																
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)			2. РК			3. N ₁ PK			4. N ₂ PK			5. N ₃ PK				
Продуктивность / Productivity																
общая / total	разница** / difference	общая / total	разница / difference	прибавка от внесения РК / increase from PK	общая / total	разница / difference	прибавка от внесения / increase		общая / total	разница / difference	прибавка от внесения / increase		общая / total	разница / difference	прибавка от внесения / increase	
							N ₁ PK	N			N ₂ PK	N			N ₃ PK	N
Без известкования (контроль) / Without liming (control)																
3,08*	0,49	3,50	0,55	0,42	3,92	0,46	0,84	0,42	4,08	0,40	1,00	0,58	4,16	0,30	1,08	0,66
2,59		2,95		0,36	3,46		0,87	0,51	3,68		1,09	0,73	3,86		1,27	0,91
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h. a.																
3,20	0,37	3,68	0,65	0,48	4,08	0,56	0,88	0,40	4,24	0,46	1,04	0,56	4,35	0,45	1,15	0,67
2,83		3,03		0,20	3,52		0,69	0,49	3,78		0,95	0,75	3,90		1,07	0,87
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h. a.																
3,12	0,50	3,61	0,65	0,49	3,98	0,52	0,86	0,37	4,14	0,48	1,02	0,53	4,12	0,29	1,00	0,51
2,62		2,96		0,34	3,46		0,84	0,50	3,66		1,04	0,70	3,83		1,21	0,87

*Числитель – бобовый севооборот, знаменатель – злаковый, ** разница между севооборотами с бобовым и злаковым компонентами /
*Numerator – legume crop rotation, denominator – cereal, ** difference between crop rotations with legume and cereal components

Таблица 6 – Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от изучаемых факторов
(зернотравяно-пропашной севооборот, в среднем за год) /
Table 6 – Payback of mineral fertilizers depending on the studied factors (grain-grass crop rotation, average per year)

Удобрения / Fertilizers	Продуктивность в контроле и прибавка от внесения, т корм. ед./га / Productivity un- der control and increase, t feed units/ha		Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers	
	PK	NPK	дополнительным количеством корм. ед., кг / additional number of feed units, kg	дополнительным доходом руб/руб / additional income of rub/rub
Севооборот с люцерной / Crop rotation with alfalfa				
Без известкования (контроль) / Without liming (control)				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,08	3,08	-	-
2. P ₄₆ K ₆₅	0,42	-	3,8	1,27
3. N ₂₆ P ₄₆ K ₆₅	-	0,84	6,1	2,01
4. N ₅₀ P ₄₆ K ₆₅	-	1,00	6,2	2,02
5. N ₇₅ P ₄₆ K ₆₅	-	1,08	5,8	1,88
Известкование по 0,5 г.к. / Liming by 0.5 h.a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,20	3,20	-	-
2. P ₄₆ K ₆₅	0,48	-	4,3	1,43
3. N ₂₆ P ₄₆ K ₆₅	-	0,88	6,4	2,10
4. N ₅₀ P ₄₆ K ₆₅	-	1,04	6,5	2,11
5. N ₇₅ P ₄₆ K ₆₅	-	1,15	6,2	2,00
Известкование по 1,0 г.к. / Liming by 1.0 h.a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,12	3,12	-	-
2. P ₄₆ K ₆₅	0,49	-	4,4	1,47
3. N ₂₆ P ₄₆ K ₆₅	-	0,86	6,3	2,07
4. N ₅₀ P ₄₆ K ₆₅	-	1,02	6,3	2,05
5. N ₇₅ P ₄₆ K ₆₅	-	1,00	5,4	1,74
Севооборот с кострцом / Crop rotation with smooth brome				
Без известкования (контроль) / Without liming (control)				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	2,59	2,59	-	-
2. P ₄₆ K ₆₅	0,36	-	3,2	1,07
3. N ₃₀ P ₄₆ K ₆₅	-	0,87	6,2	2,04
4. N ₅₉ P ₄₆ K ₆₅	-	1,09	6,4	2,07
5. N ₈₇ P ₄₆ K ₆₅	-	1,27	6,4	2,06
Известкование по 0,5 г. к. / Liming 0.5 h. a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	2,71	2,71	-	-
2. P ₄₆ K ₆₅	0,32	-	2,9	0,97
3. N ₃₀ P ₄₆ K ₆₅	-	0,81	5,7	1,87
4. N ₅₉ P ₄₆ K ₆₅	-	1,07	6,3	2,04
5. N ₈₇ P ₄₆ K ₆₅	-	1,19	6,0	1,93
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h. a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	2,62	2,62	-	-
2. P ₄₆ K ₆₅	0,34	-	3,1	1,03
3. N ₃₀ P ₄₆ K ₆₅	-	0,84	6,0	1,97
4. N ₅₉ P ₄₆ K ₆₅	-	1,04	6,1	1,98
5. N ₈₇ P ₄₆ K ₆₅	-	1,21	6,1	1,96

При внесении полного минерального удобрения сбор кормовых единиц с 1 га был больше на 0,50-0,88 т корм. ед., чем в варианте с фосфорно-калийным удобрением (2,98 т корм. ед./га). Преимущество по окупаемости 1 кг д. в. удобрений имели варианты с полным удобрением с дозой азота 59 и 87 кг д. в. на фоне без известкования (6,4 кг корм. ед.) с дополнительным доходом 2,07 и 2,06 руб/руб. От известкования почвы более заметный эффект получили в бобовом севообороте, где в вариантах, произвесткованных по 0,5 г. к., прибавка составила 0,16 т корм. ед./га (без известкования – 3,75 т корм. ед./га), тогда как в злаковом 0,10 т корм. ед./га и 3,31 т корм. ед./га соответственно. Наши данные согласуются с исследованиями [4], где было показано, что применение удобрений в зернотравяно-пропашных севооборотах было более результативным, чем в севообороте с чистым паром.

Выводы. В результате исследований выявлено, что окупаемость 1 кг д. в. полного минерального удобрения в зернотравяно-паро-пропашном севообороте с люцерной и кострцом составила 4,0 и 4,6 кг корм. ед., 1 кг д. в. азота в составе полного минерального 5,08 и 7,40 кг корм. ед., дополнительный доход 1,30

и 1,44 руб/руб соответственно. Рекомендуемые дозы минеральных удобрений на фоне известкования почвы по 0,5 г. к.: $N_{22-39}P_{42}K_{52}$ – для бобового севооборота и $N_{27-71}P_{42}K_{52}$ – для злакового.

В зернотравяно-пропашном севообороте с бобовым и злаковым компонентами окупаемость 1 кг д. в. полного минерального удобрения составила 5,64 и 5,37 кг корм. ед., дополнительный доход – 2,00 и 1,99 руб/руб соответственно. В севообороте с кострцом из-за низкого дополнительного дохода (0,97-1,07 руб/руб) фосфорно-калийные удобрения вносить нецелесообразно. Окупаемость 1 кг д. в. азота в составе полного минерального удобрения в зерновом севообороте составила в среднем 13,04 кг корм. ед., в бобовом – 11,5 кг. Рекомендуемые дозы минеральных удобрений $N_{26-87}P_{46}K_{65}$ на фоне известкования почвы по 0,5-1,0 г. к.

Зернотравяно-пропашной севооборот показал более высокие показатели, чем зернотравяно-паропропашной: продуктивность на 1,55 т корм. ед./га, окупаемость 1 кг д. в. удобрений на 1,4 кг корм. ед., и дополнительный доход на 0,68 руб/руб выше.

Список литературы

1. Чекмарев П. А., Сидоров А. В., Моисеев А. А. Динамика плодородия пахотных почв Республики Мордовия. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(1):4-9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29008693>
2. Бортник Т. Ю., Башков А. С. Эффективность систем удобрений и перспективы научных исследований в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 гг.: мат-лы Всероссийск. координац. совещ. научных учреждений-участников географической сети опытов с удобрениями. Под ред. акад. РАН В. Г. Сычева. М.: ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 26-31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35672845>
3. Ивойлов А. В. Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2015. 264 с. Режим доступа: https://mrsu.ru/ru/i_chair/docs.php?ELEMENT_ID=32771
4. Пугаев С. В., Прокина Л. Н. Эффективность комплекса агрохимических средств в зернопропашных севооборотах. Агрохимия. 2016;(7):44-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26470164>
5. Шаповалова Н. И., Шустикова Е. П., Воропаева А. А. Влияние длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность полевого севооборота в прямом действии и последствии. Достижения науки и техники АПК. 2017;(31 (2)):11-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29008707>
6. Козлова Л. М. Актуальные проблемы земледелия и пути их решения в Северо-Восточном регионе европейской части РФ. Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию Пермского НИИСХ. Т.1. Ч.2. Агрохимия и земледелие. Пермь: изд-во «От и До», 2013. С. 282-292.
7. Gan Y., Hamel C., O'Donovan J. T., Cutforth H., Zentner R. P., Campbell C. A., Niu Y., Poppy L. Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. Sci. Rep. 2015;5:14625. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep14625>
8. Niu V., Bainard L. D., Bandara M., Hamel C., Gan Y., Soil residual water and nutrients explain about 30 % of the rotational effect in 4-yr pulseintensified rotation systems. Canadian Journal of Plant science. 2017;97 (5):852-864. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0282>

9. Федюшкин А. В., Парамонов А. В., Медведева В. И. Влияние систематического применения удобрений на продуктивность зернотравяного севооборота. Бюллетень науки и практики. 2018;(4(6)):107-112. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35120947>
10. Сычев В. Г., Беличенко М. В., Романенков В. А. Этапы развития, результаты исследований и актуальные проблемы длительных агрохимических полевых опытов Географической сети опытов с удобрениями. Агрохимия. 2018;(1):3-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32246765>
11. Карабутов А. П., Соловichenko В. Д., Никитин В. В., Навольнева Е. В. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов. Земледелие. 2019;(2):3-7. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>
12. Пронько В. В. Основные итоги деятельности учреждений географической сети опытов с удобрениями в Поволжье. Агрохимия. 2018;(1):30-38. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32246767>

References

1. Chekmarev P. A., Sidorov A. V., Moiseev A. A. *Dinamika plodorodiya pakhotnykh pochv Respubliki Mordoviya*. [Dynamics of fertility of arable lands in the Republic of Mordovia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2017;31(1):4-9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29008693>
2. Bortnik T. Yu., Bashkov A. S. *Effektivnost' sistem udobreniy i perspektivy nauchnykh issledovaniy v dlitel'nom polevom opyte na derno-vo-podzolistoy srednesuglinistoy pochve*. [Efficiency of fertilizer systems and prospects for scientific research in long-term field experience on sod-podzolic medium-loamy soil]. *Itogi vypolneniya programmy fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy gosudarstvennykh akademiy na 2013-2020 gg.: mat-ly Vserossiys. koordinats. soveshch. nauchnykh uchrezhdeniy-uchastnikov geograficheskoy seti opytov s udobreniyami. Pod red. akad. RAN V. G. Sycheva*. [Results of the implementation of the program of fundamental scientific research of state academies for 2013-2020: Proceedings of the All-Russian coordinator meeting of scientific institutions participating in the geographical network of experiments with fertilizers. Ed. acad. RAS V. G. Sycheva]. Moscow: *VNI agrokhimii imeni D. N. Pryanishnikova*, 2018. pp. 26-31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35672845>
3. Ivoylov A. V. *Effektivnost' udobreniya i izvestkovaniya vyshchelochennykh chernozemov*. [Efficiency of fertilization and liming of leached chernozems]. Saransk: *Izd-vo Mordovskogo un-ta*, 2015. 264 p. URL: https://mrsu.ru/ru/i_chair/docs.php?ELEMENT_ID=32771
4. Pugaev S. V., Prokina L. N. *Effektivnost' kompleksa agrokhimicheskikh sredstv v zernopropashnykh sevooborotakh*. [The effectiveness of the complex of agrochemicals for grain grass-tilled crop rotation]. *Agrokhimiya*. 2016;(7):44-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26470164>
5. Shapovalova N. I., Shustikova E. P., Voropaeva A. A. *Vliyanie dlitel'nogo vneseniya mineral'nykh udobreniy na produktivnost' polevogo sevooborota v pryamom deystvii i posledeystvii*. [Influence of long-term application of mineral fertilizers on the productivity of field crop rotation in the direct action and their aftereffect]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis* 2017;(31 (2)):11-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29008707>
6. Kozlova L. M. *Aktual'nye problemy zemledeliya i puti ikh resheniya v Severo-Vostochnom regione evropeyskoy chasti RF*. [Actual problems of agriculture and ways of their solution in the North-Eastern region of the European part of the Russian Federation]. *Razvitie i vnedrenie sovremennykh tekhnologiy i sistem vedeniya sel'skogo khozyaystva, obespechivayushchikh ekologicheskuyu bezopasnost' okruzhayushchey sredy: mat-ly Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 100-letiyu Permskogo NIISKh. T.1. Ch.2. Agrokhimiya i zemledelie*. [Development and implementation of modern technologies and systems of agriculture that ensure environmental safety of the environment: Proceedings of International scientific and practical conf., dedicated to the 100th anniversary of the Perm Research Institute of Agriculture. Vol. 1. Part 2. Agrochemistry and agriculture]. Perm: *izd-vo «Ot i Do»*, 2013. pp. 282-292
7. Gan Y., Hamel C., O'Donovan J. T., Cutforth H., Zentner R. P., Campbell C. A., Niu Y., Poppy L. Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. *Sci. Rep.* 2015;5:14625. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep14625>
8. Niu V., Bainard L. D., Bandara M., Hamel C., Gan Y., Soil residual water and nutrients explain about 30 % of the rotational effect in 4-yr pulseintensified rotation systems. *Canadian Journal of Plant Science*. 2017;97 (5):852-864. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0282>
9. Fedushkin A. V., Paramonov A. V., Medvedeva V. I. *Vliyanie sistematicheskogo primeneniya udobreniy na produktivnost' zernotravyanogo sevooborota*. [Influence of the systematic application of inorganic fertilizers on the ley farming efficiency]. *Byulleten' nauki i praktiki = Bulletin of Science and Practice*. 2018;(4(6)):107-112. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35120947>
10. Sychev V. G., Belichenko M. V., Romanenkov V. A. *Etapy razvitiya, rezul'taty issledovaniy i aktual'nye problemy dlitel'nykh agrokhimicheskikh polevykh opytov Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami*. [Geo-

graphical network of long-term field experiments with fertilizers: stages of development, research results and actual problems of long-term agrochemical trails]. *Agrokimiya*. 2018;(1):3-16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32246765>

11. Karabutov A. P., Solonichenko V. D., Nikitin V. V., Navolneva E. V. *Vosproizvodstvo plodorodiya pochv, produktivnost' i energeticheskaya effektivnost' sevooborotov*. [Reproduction of soil fertility, productivity and energy efficiency of crop rotations]. *Zemledelie*. 2019;(2):3-7. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>

12. Pron'ko V. V. *Osnovnye itogi deyatel'nosti uchrezhdeniy geograficheskoy seti opytov s udobreniyami v Povolzh'e*. [The main results of activity of geographical network of long-term field experiments with fertilizers in the Volga region]. *Agrokimiya*. 2018;(1):30-38. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32246767>

Сведения об авторах

✉ **Прокина Людмила Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией агрохимии, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Пугаев Сергей Васильевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р. п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

Information about the authors

✉ **Lyudmila N. Prokina**, PhD in Agricultural science, leading researcher, Head of the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Sergey V. Pugaev, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.234-243>
УДК 631.416



Сезонная динамика содержания свинца в дерново-подзолистой почве при внесении минеральных удобрений

© 2021. О. А. Чеглакова✉, Л. Н. Шихова

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

Изучали влияние длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений (NPK по 0-30-60-90-120-150 кг д. в./га) на содержание и динамику кислоторастворимых и подвижных соединений свинца в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в течение вегетационного периода 2016 г. Выявлено, что длительное применение удобрений достоверно увеличивает содержание подвижных форм элемента в почве при внесении NPK в дозах 30 и 150 кг/га д. в./га по сравнению с контролем (в среднем 0,57; 0,51 и 0,33 мг/кг почвы соответственно). Однако даже длительное внесение больших доз минеральных удобрений не приводит к значительному повышению содержания свинца в пахотных горизонтах почв. Кислоторастворимые соединения свинца находятся в диапазоне от 2,46 ($N_0P_0K_0$) до 5,33 мг/кг ($N_{150}P_{150}K_{150}$), содержание подвижных соединений свинца соответственно от 0,08 до 1,31 мг/кг почвы при ПДК 6,0 мг/кг. Содержание кислоторастворимых и подвижных соединений свинца в пахотных горизонтах дерново-подзолистой почвы обладало достоверной динамикой в течение вегетационного периода во всех вариантах опыта. Повышение содержания и кислоторастворимых, и подвижных соединений отмечается, как правило, в первой половине вегетационного периода (конец мая – начало июня), что обусловлено, вероятно, активной мобилизацией свинца из малоподвижных соединений в результате активизации микробиологической деятельности при благоприятном гидротермическом режиме. В этот же период происходит увеличение доли подвижных фракций свинца от кислоторастворимых. Внесение возрастающих доз удобрений (30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества) не всегда показывает достоверное увеличение содержания элемента в соответствующем варианте, что очевидно связано с влиянием неучтенных факторов. Более четкая динамика содержания характерна для подвижных соединений свинца.

Ключевые слова: пахотная почва, длительный стационарный опыт, кислоторастворимые формы свинца, подвижные соединения свинца, вегетационный период, дозы удобрений, длительное внесение минеральных удобрений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0093).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чеглакова О. А., Шихова Л. Н. Сезонная динамика содержания свинца в дерново-подзолистой почве при внесении минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):234-243. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.234-243>

Поступила: 15.09.2020

Принята к публикации: 17.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Seasonal dynamics of lead content in sod-podzolic soil in dependence of mineral fertilizer application

© 2021. Oksana A. Cheglakova✉, Lyudmila N. Shikhova

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

Influence of prolonged use of increasing doses of mineral fertilizers (NPK by 0-30-60-90-120-150 kg of active matter/ha) on contents and dynamics of acid-soluble and mobile compounds of lead in an arable layer of the sod-podzolic soil was studied during the growing season of 2016. It has been established that prolonged application of fertilizers significantly increases the content of mobile forms of the element in the soil at application of NPK in doses of 30 and 150 kg of active matter / ha as compared to the control (average values are 0.57, 0.51, and 0.33, respectively). However, even prolonged application of large doses of mineral fertilizers does not lead to a significant increase in lead content in the arable horizons of the soil. Acid-soluble lead compounds range from 2.46 ($N_0P_0K_0$) to 5.33 mg/kg ($N_{150}P_{150}K_{150}$); the content of mobile lead compounds from 0.08 to 1.31 mg/kg of soil, respectively, at maximum acceptable concentration of 6.0 mg/kg. The content of acid-soluble and mobile lead compounds in arable horizons of sod-podzolic soil had a reliable dynamics during the growing season on all variants of the experiment. An increase in the content and acid-soluble and mobile compounds is usually observed in the first half of the growing season (end of May - beginning of June), which is probably due to the active mobilization of lead from slow-moving compounds as a result of the activation of microbiological activity under a favorable hydrothermal regime. In the same period, the portion of mobile fractions of lead to acid-soluble fractions increases. Application of increasing doses of fertilizers (30, 60, 90, 120 and 150 kg/ha of active matter) does not always show a reliable increase in the content of the element in the corresponding variant, which is obviously due to the influence of unaccounted factors. A clearer content dynamics is characteristic of mobile lead compounds.

Keywords: arable soil, long stationary experiment, acid-soluble forms of lead, mobile compounds of lead, growing season, various doses of fertilizers, long-term application of mineral fertilizers

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.0528-2019-0093).

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: Cheglakova O. A., Shikhova L. N. Seasonal dynamics of lead content in sod-podzolic soil in dependence of mineral fertilizer application *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2): 234-243. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.234-243>

Received: 15.09.2020

Accepted for publication: 17.03.2021

Published online: 19.04.2021

Техногенез приводит к загрязнению окружающей среды разнообразными поллютантами. Среди них особое место занимают тяжёлые металлы (ТМ) – это элементы с атомной массой более 50 а.е.м.¹, обладающие высокой биохимической активностью. Превышение содержания ТМ в почве выше пороговых значений приводит к нарушению метаболизма и гибели организмов.

Свинец относится к тяжёлым металлам 1-го класса опасности и представляет большую угрозу для окружающей среды и человека^{2, 3} [1, 2]. В растения свинец поступает непосредственно из почвы. Загрязнение растениеводческой продукции особенно опасно, поскольку в ее составе элемент поступает в пищевые продукты (ПДК свинца в зерновых 0,3-0,5 мг/кг)⁴. В почве свинец присутствует в основном в минеральной части, где он входит в состав первичных минералов [3].

На доступность и растворимость содержащихся в почве ТМ оказывают влияние свойства почв, вносимые минеральные удобрения и биологические особенности возделываемых культур. За счет буферных свойств почвы часть ТМ инактивируется, но все же большая часть остается мобильной и активно потребляется растениями.

Некоторое количество свинца поступает в почву с удобрениями и мелиорантами. Минеральные удобрения являются одним из возможных источников загрязнения пахотных почв тяжёлыми металлами за счет балласта, который образуется при производстве удобрений. В ком-

плексных удобрениях возможно содержание до 25 видов загрязняющих веществ, среди которых и ТМ [4, 5]. Например, в составе фосфорных удобрений содержится до 220 мг/кг Pb [6].

Однако единого мнения об уровне накопления тяжёлых металлов в почве от внесения минеральных удобрений не существует. Г. А. Сатаров, проанализировав фосфорно-калийные удобрения, показал, что в их составе среди 6 наиболее опасных элементов наибольшая часть приходится на долю свинца. Так, его валовое содержание в двойном гранулированном суперфосфате составляет 60,3 мг/кг, а в хлористом калии – 8,79 мг/кг. На втором месте находится никель, за ним следуют мышьяк, хром, кадмий и ртуть. Такая же последовательная зависимость сохраняется и по содержанию растворимых форм в 1Н HCl и ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4,8 [7]. При использовании минеральных удобрений отмечается значительное поступление легкоусвояемых подвижных форм свинца и никеля. Поступившие в почву ТМ накапливаются в ее толще, особенно в верхнем гумусовом горизонте, и период полувыведения, например, для Pb составляет 770-5900 лет [8].

В исследованиях одних авторов применение минеральных удобрений приводило к аккумуляции тяжёлых металлов в почве [9, 10]. В работе А. И. Сердюка с соавторами сделан вывод о том, что долгосрочное внесение минеральных удобрений в комплексе способствовало возрастанию валового содержания тяжёлых металлов в почве полевого севооборота⁵.

¹СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/901859456>

²ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 4 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012797>

³Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды: утв. приказом МПР России № 511 от 15 июня 2001. [Электронный ресурс].

URL: <https://yandex.ru/turbo/docplan.ru/s/Data2/1/4293836/4293836294.htm> (дата обращения 15.07.2020).

⁴СанПиН 42-123-4089-86. Предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах № 4089-86 от 31.03.86. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114682>

⁵Сердюк А. И., Ефимова Ю. Е., Дмитриева Е. Ш. Тяжёлые металлы в почвах севооборота при длительном внесении минеральных удобрений. Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. молодых ученых. Молодежный: изд-во Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, 2020. С. 35-43. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44002396>

В исследованиях других авторов существенного накопления тяжелых металлов в почве не происходило [11]. Расчеты Г. А. Сатарова показали, что тяжелые металлы, вносимые в почву с удобрениями, не представляют опасности как загрязнители, так как с урожаем их выносятся больше, чем поступает по двум основным статьям [7].

Большинство исследователей едины во мнении, что многолетнее внесение удобрений способствует накоплению и увеличению подвижности тяжелых металлов, в том числе свинца, в пахотных почвах. Однако в каждом конкретном случае большое влияние оказывают свойства почвы, степень окультуренности, источники сырья для производства удобрений, особенности климата и другие факторы.

По санитарно-гигиеническому нормированию в России содержание элементов-загрязнителей почв оценивают по предельно допустимым концентрациям (ПДК) и ориентировочно допустимым концентрациям (ОДК)⁶.

При оценке техногенных аномалий природных объектов используют фоновые концентрации или «кларк» соответствующих элементов. Фоновые территории – это территории, удаленные от источников загрязнения более чем на 30-50 км [12]. Фоновое содержание свинца в дерново-подзолистых почвах Кировской области составляет 1,86 мг/кг [13]. По А. П. Виноградову кларк свинца в земной коре и почвах составляет 10 мг/кг [14].

В почве доступна для растений лишь очень небольшая доля свинца в составе подвижных соединений. От валового содержания элемента подвижные фракции свинца составляют около 10 % [15]. Большее количество элемента содержится в кислоторастворимых фракциях, которые считаются потенциальным запасом доступных соединений элемента и способны переходить в раствор при подкислении почвы⁷ [16]. Кислоторастворимые формы составляют обычно 40-50 % от валового содержания свинца [7].

Подвижность и доступность элемента для растений существенно меняется в течение вегетационного периода и зависит от многих почвенных факторов, в том числе кислотности почвы, содержания и состава органического

вещества, окислительно-восстановительного режима и других [5, 17]. Однако исследований по выявлению закономерностей изменения содержания ТМ в почвах в течение сезона недостаточно, и они носят отрывочный характер [18]. В данной работе сделана попытка оценки содержания свинца и его динамики в течение вегетационного периода в пахотной дерново-подзолистой почве после длительного применения разных доз минеральных удобрений.

Подобные исследования необходимы для экологического мониторинга геохимической ситуации на сельскохозяйственных землях с целью предотвращения возможного загрязнения почв и растениеводческой продукции.

Цель исследования – изучение влияния длительного применения разных доз минеральных удобрений на содержание и динамику кислоторастворимых и подвижных соединений свинца в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в течение вегетационного периода.

Материал и методы. Объектом исследования является дерново-подзолистая пахотная почва длительного стационарного опыта по изучению влияния внесения различных доз минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. Длительный стационарный опыт географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами в международном проекте «Euro-SOMNET» заложен в 1972 г. на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров).

В опыте ежегодно применяются следующие минеральные удобрения: аммиачная селитра (NH_4NO_3), суперфосфат двойной гранулированный ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$) и хлористый калий (KCl). Для изучения содержания и динамики кислоторастворимых и подвижных форм свинца выбраны варианты с внесением доз NPK: 30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества.

Почва опытного участка пахотная дерново-подзолистая, среднесуглинистая, сформирована на элюво-делювии пермских глин и суглинков.

Агрохимические свойства пахотного горизонта в год исследования представлены в таблице 1.

⁶СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/11/11782>

⁷ГОСТ Р 53218-2008. Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов (издание с поправкой). М.: Стандартинформ, 2020. 16 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200073052>; Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: Минсельхоз России, 1992. 61 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200048597>

Таблица 1 – Агрохимические свойства пахотного горизонта, 2016 г. /
 Table 1 – Agrochemical properties of the arable horizon, 2016

Вариант / Variant	Показатель / Parameter							
	C, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺
		мг/кг почвы / mg/kg of soil			мг-экв/100 г почвы / mg-eq/100 g of soil			
Контроль (без удобрения) / Control (without fertilizer)	1,21	5,7	16,9	4,88	11,49	4,78	1,28	0,28
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	1,32	20,0	26,7	4,49	9,62	3,54	4,04	0,87

Внесение минеральных удобрений с момента закладки опыта привело к повышению содержания органического вещества, питательных элементов (подвижного фосфора и обменного калия), что свидетельствует о положительном эффекте применения удобрений. Однако произошло и повышение кислотности почвы. Отбор почвенных проб проводился из пахотного слоя 0-20 см в шестикратной повторности в выбранных вариантах внесения удобрений в течение вегетационного периода 2016 г. 5 раз: 30 апреля, 1 июня, 24 июня, 20 июля и 18 августа.

Почвенные пробы готовили в соответствии с общепринятыми методами⁸. В пробах определяли: подвижные соединения свинца в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4,8 (актуальный запас) и кислоторастворимые соединения свинца в 1Н азотной кислоте (потенциальный запас) на атомно-абсорбционном спектрофотометре ацетилен-воздух AA-6800 (SHIMADZU)^{9, 10}.

Статистическую обработку полученных результатов проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета программ Microsoft Excel 2003 и Agros 2.07. Достоверность сезонной динамики содержания подвижных и кислоторастворимых форм свинца оценивали с использованием критерия Дункана.

На характер динамики почвенных факторов сильное влияние оказывают климатические факторы. Метеоусловия в период проведения исследования представлены на рисунках 1, 2. В мае преобладала теплая и засушливая погода. Среднемесячная температура воздуха составила 14 °С. За месяц выпало 30 мм осад-

ков (54 % нормы). Продолжительность периода с минимальной относительной влажностью воздуха (30 % и ниже) достигала 22 дней.

В июне наблюдалась неустойчивая по температуре погода с периодически выпадающими дождями разной интенсивности. Среднемесячная температура воздуха составила 16,5 °С, что близко к климатической норме. Осадки выпали в первой декаде месяца, вторая и третья декада были сухими. Всего за месяц выпало 25 мм (36 % нормы). В июле преобладала теплая, временами жаркая погода с периодически выпадающими сильными дождями. Среднемесячная температура воздуха составила 20,8 °С. За месяц выпало 116 мм осадков (138 % нормы). В августе преобладала жаркая погода с редкими дождями в третьей декаде. Среднемесячная температура воздуха составила 20,9 °С. За месяц выпало 48 мм осадков (68 % нормы).

Результаты и их обсуждение. Пахотный горизонт почв изучаемых вариантов опыта содержит незначительное количество и подвижных, и кислоторастворимых соединений свинца. Кислоторастворимые формы свинца, выделяемые 1Н азотной кислотой, определяют потенциальный запас элемента, т. е. то количество, которое может быть доступно для растений при возможном подкислении реакции почвенной среды.

В пахотном горизонте изучаемой почвы содержание кислоторастворимых соединений свинца варьировало в разные сроки в разных вариантах от 2,46 мг/кг (в варианте без удобрений) до 5,33 мг/кг (в варианте с внесением N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀) (табл. 2).

⁸ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа № 4731 от 01.01.86. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/gost-17-4-4-02-84>

⁹Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продуктивных растениеводства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200078918>

¹⁰Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.

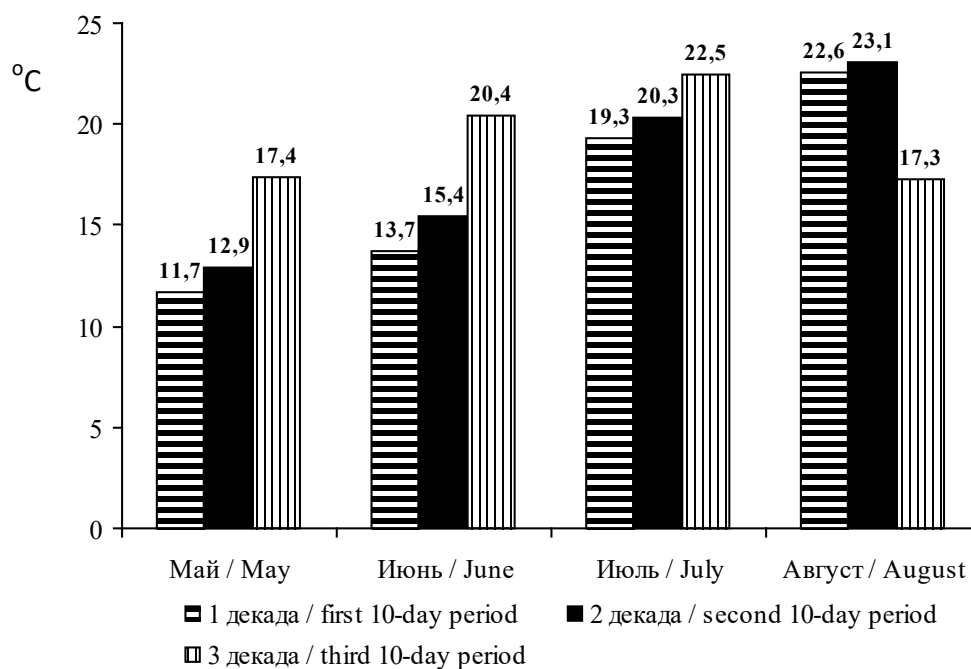


Рис. 1. Температура воздуха в вегетационный период 2016 года по декадам, °C (данные Гидрометобсерватории, г. Киров) /

Fig. 1. Air temperature in the 2016 growing season by 10-day periods, °C (data from the Hydro-meteorological observatory, Kirov)

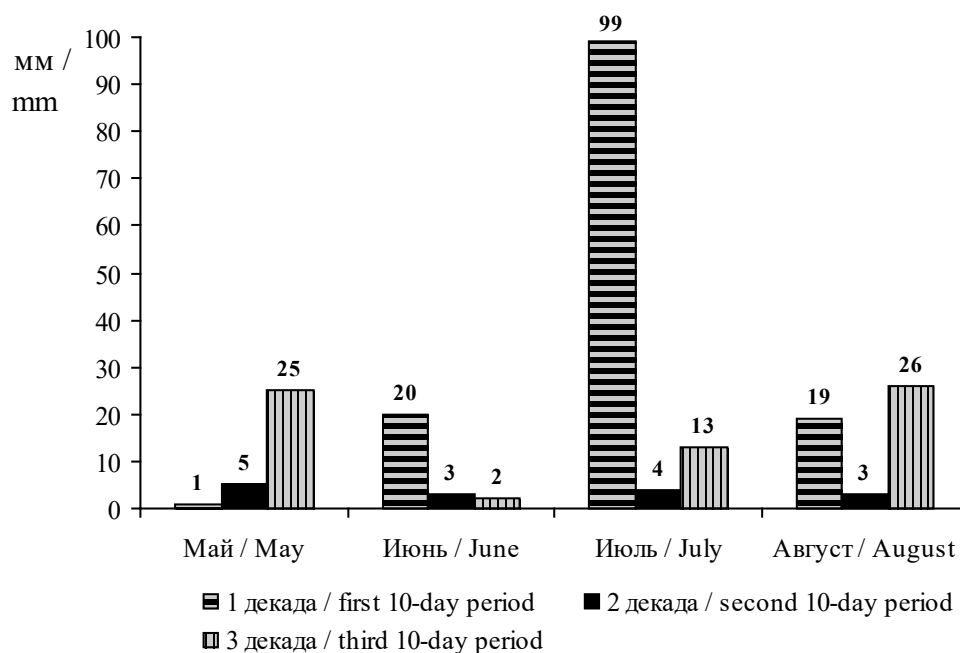


Рис. 2. Сумма осадков в вегетационный период 2016 года по декадам, мм (данные Гидрометобсерватории, г. Киров) /

Fig. 2. Amount of precipitation during the 2016 growing season by 10-day periods, mm (data from the Hydro-meteorological observatory, Kirov)

В течение вегетационного периода в пахотном горизонте выявлено достоверное изменение содержания элемента только по срокам наблюдения. Изменение содержания

элемента по вариантам с внесением разных доз минеральных удобрений в каждый срок отбора почвенных проб недостоверно.

Таблица 2 – Содержание кислоторастворимых соединений свинца в пахотном слое дерново-подзолистой почвы, мг/кг почвы /

Table 2 – Content of acid-soluble compounds of lead in an arable layer of the sod-podsolic soil, mg/kg of soil

Доза минеральных удобрений, кг/га д. в. / Mineral fertilizer dose, kg/ha of active matter	Срок пробоотбора / Sampling period					Среднее по дозе NPK / Average on NPK doze
	30 апреля / April 30	1 июня / June 1	24 июня / June 24	20 июля / July 20	18 августа / August 18	
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	3,50±0,20	2,99±0,36	3,83±0,41	2,46±0,55	3,40±0,35	3,23
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,41±0,39	4,15±0,38	3,44±0,59	3,41±0,31	3,86±0,36	3,85
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,06±0,70	4,25±0,33	3,74±0,41	4,15±0,38	3,23±0,56	3,88
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,49±0,26	4,00±0,25	3,23±0,37	3,03±0,36	3,60±0,32	3,47
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	3,88±0,36	3,84±0,44	4,04±0,39	3,29±0,49	4,18±0,15	3,84
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	3,69±0,50	5,33±1,13	2,83±0,49	3,48±0,63	3,60±0,42	3,78
Среднее по дате отбора* / Average on the period*	3,84bc	4,09c	3,52ab	3,30a	3,64abc	-

* Величины, сопровождаемые одинаковыми буквами, не отличаются по критерию Дункана ($p \leq 0,05$) /

* The values followed by the same letters do not differ according to the Duncan criterion ($p \leq 0.05$)

Максимальное содержание элемента в почве разных вариантов опыта строго не совпадало по срокам, но приходилось на начало или первую половину вегетационного сезона. Во второй половине вегетационного сезона содержание элемента снижалось. Очевидно, это связано с активизацией микробиологической деятельности в начале сезона, ведущей к активной трансформации органического вещества почвы, разрушению минеральной части и повышению доступности свинца почвенных минералов.

Пахотный горизонт почвы контрольного варианта во все сроки наблюдения содержал минимальное количество кислоторастворимых соединений свинца по сравнению с другими вариантами. Характер динамики аналогичен вариантам с внесением удобрений. Во всех вариантах исследования содержание кислоторастворимых соединений свинца варьировало в течение сезона, но в конце срока наблюдения приблизилось к показателям начала вегетационного периода.

Подвижные соединения свинца, выделяемые ацетат-аммонийным буфером, входят в состав кислоторастворимых и характеризуют количество элемента, непосредственно доступное для поглощения растениями [17].

В среднем в дерново-подзолистых и подзолистых почвах северо-востока Европейской равнины содержится не больше 4 мг/кг подвижных соединений свинца [19]. Содержа-

ние подвижных форм свинца в исследуемых почвах в течение всего вегетационного сезона было не только в пределах предельно допустимых значений – 6 мг/кг почвы¹¹, но и не превышало фоновые значения содержания в дерново-подзолистых почвах Кировской области – 1,86 мг/кг [13].

В течение вегетационного сезона содержание подвижных форм свинца в пахотном горизонте существенно изменялось и варьировало от 0,08 до 1,31 мг/кг почвы. Изменение содержания этих форм элемента достоверно как по срокам отбора проб, так и по вариантам с внесением разных доз удобрений (табл. 3).

Пахотный слой почвы контрольного варианта практически во все сроки наблюдения содержал достоверно меньше подвижных соединений свинца по сравнению с почвами вариантов с разными дозами удобрений.

Характер сезонной динамики содержания подвижных соединений свинца имел сложный характер. В начале наблюдения, в весенний период, подвижных соединений немного во всех вариантах опыта. Наибольшее содержание подвижных соединений свинца в почве отмечено в начале июня. Затем их количество резко уменьшалось до конца срока наблюдения. Причём такой характер динамики отмечался во всех вариантах опыта. Лишь в варианте с дозой удобрений 30 кг/га отмечен ещё один незначительный максимум содержания в летний период.

¹¹ ГН 2.1.7.2041 – 06 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901966754>

Таблица 3 – Содержание подвижных соединений свинца в пахотном слое дерново-подзолистой почвы, мг/кг /
 Table 3 – Content of mobile lead compounds in the arable layer of sod-podzolic soil, mg/kg

Доза минеральных удобрений, кг/га д. в. / Mineral fertilizer dose, kg/ha of active matter	Сроки пробоотбора / Sampling periods					Среднее по дозе NPK * / Average on NPK dose*
	30 апреля / April 30	1 июня / June 1	24 июня / June 24	20 июля / July 20	18 августа / August 18	
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	0,25±0,02	0,56±0,06	0,33±0,03	0,19±0,0	0,32±0,01	0,33a
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	0,49±0,05	1,07±0,28	0,35±0,02	0,59±0,0	0,39±0,01	0,57c
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,23±0,03	1,01±0,23	0,43±0,01	0,17±0,0	0,27±0,01	0,42ab
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,29±0,08	0,84±0,25	0,14±0,02	0,28±0,04	0,28±0,06	0,37a
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,27±0,07	0,97±0,21	0,36±0,07	0,28±0,05	0,08±0,02	0,39ab
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	0,24±0,01	1,31±0,13	0,50±0,09	0,26±0,01	0,24±0,06	0,51bc
Среднее по дате отбора* / Average on the period*	0,30a	0,96b	0,35a	0,30a	0,27a	-

* Величины, сопровождаемые одинаковыми буквами, не отличаются по критерию Дункана ($p \leq 0,05$) /

* The values followed by the same letters do not differ according to the Duncan criterion ($p \leq 0.05$)

Такое синхронное изменение содержания элемента вне зависимости от дозы внесения удобрений связано с едиными климатическими и почвенными процессами.

Из литературных источников известно, что подвижность тяжёлых металлов, в том числе и свинца, зависит от климатических факторов (влажности, температуры), микробиологической активности, кислотности почвенного раствора, содержания и подвижности органического вещества почвы [20]. Очевидно, благоприятное сочетание этих факторов в начале лета привело к резкому повышению подвижности соединений свинца. В мае преобладала теплая и сухая погода, которая сменилась в начале июня более влажными условиями, что способствовало ускорению трансформации органического вещества почвы. Известно, что положительные температуры в начале вегетационного сезона при достаточной влажности способствуют активной минерализации органического вещества почвы, увеличению его лабильности, что приводит к повышению подвижности многих металлов [21]. Причиной этого может быть и увеличение кислотности почвенного раствора, также связанное с трансформацией органического вещества [20]. Однако достоверных корреляционных связей содержания подвижных и кислоторастворимых соединений свинца с кислотностью почв и содержанием органического вещества в наших исследованиях не выявлено. Это может быть связано с высокой изменчиво-

стью данных показателей, а также влиянием неучтённых факторов.

Подвижные соединения свинца составляют небольшую долю от кислоторастворимых. Отношение содержания подвижной фракции металла к содержанию кислоторастворимой (в %) характеризует степень его подвижности. Из данных таблицы 4 видно, что максимальная доля подвижных форм свинца от кислоторастворимых форм отмечалась в начале июня во всех вариантах опыта.

Это подтверждает факт активной мобилизации соединений свинца при благоприятных гидротермических условиях.

Выводы. В результате исследования выявлено, что в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы содержание кислоторастворимых и подвижных соединений свинца достигало 5,33 и 1,31 мг/кг соответственно и обладало достоверной динамикой в течение вегетационного периода, при этом содержание подвижных форм было существенно ниже предельно-допустимых концентраций.

Минимальные величины содержания кислоторастворимых и подвижных соединений элемента отмечены в контрольном варианте во все сроки определения (2,46-3,83 и 0,19-0,56 мг/кг почвы соответственно).

Применение удобрений достоверно увеличивало содержание подвижных форм элемента в почве при внесении NPK в дозах 30 и 150 кг д. в./га по сравнению с контролем (в среднем 0,57, 0,51 и 0,33 мг/кг почвы соответственно).

*Таблица 4 – Доля содержания подвижных форм свинца от кислоторастворимых, % /
Table 4 – Portion of mobile forms of lead to acid-soluble fractions, %*

<i>Доза минеральных удобрений, кг/га д.в. / Mineral fertilizer dose, kg/ha of active matter</i>	<i>Сроки пробоотбора / Sampling periods</i>				
	<i>30 апреля / April 30</i>	<i>1 июня / June 1</i>	<i>24 июня / June 24</i>	<i>20 июля / July 20</i>	<i>18 августа / August 18</i>
$N_0P_0K_0$ – контроль / $N_0P_0K_0$ – control	7	19	9	8	9,
$N_{30}P_{30}K_{30}$	11	26	10	17	10
$N_{60}P_{60}K_{60}$	6	24	12	4	8
$N_{90}P_{90}K_{90}$	8	21	4	9	8
$N_{120}P_{120}K_{120}$	7	25	9	9	2
$N_{150}P_{150}K_{150}$	7	25	18	8	7

Внесение возрастающих доз удобрений не всегда приводило к росту содержания элемента в соответствующем варианте. Различия содержания кислоторастворимых и подвижных соединений свинца между вариантами с разными дозами могут быть недостоверны, что очевидно связано с влиянием неучтённых факторов.

Более чёткая динамика содержания характерна для подвижных соединений свинца. Максимум их содержания отмечалось во всех вариантах в первой половине вегетационного периода (начало июня), что связано, очевидно, с активной трансформацией органического вещества при наиболее благоприятных гидротермических условиях.

Список литературы

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с. Режим доступа: http://www.pochva.com/?content=3&book_id=0579
2. Синдерева А. В., Майданюк Г. А. Экологическая оценка действия свинца в системе «почва-растение-животное» и разработка научно обоснованных приемов его детоксикации. Вестник КрасГАУ. 2018;(6):244-249. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36634866>
3. Шихова Л. Н., Дабах Е. В. Содержание микроэлементов в почвообразующих породах Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2000;(2):13-16.
4. Esmaili A., Moore F., Keshavarzi B., Jaafarzadeh N., Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. Catena. 2014;(121):88-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.003>
5. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Особенности содержания свинца в почвах и растениях Средней Сибири. Микроэлементы в медицине. 2017;18(4):36-40. DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2017-18-4-36-40>
6. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. 86 с. Режим доступа: <http://rmag.soil.msu.ru/articles/886.pdf>
7. Сатаров Г. А. Экологические аспекты применения агрохимикатов. Ульяновский медико-биологический журнал. 2013;(1):138-147. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20695427>
8. Самонова О. А., Асеева Е. Н., Формы соединений тяжелых металлов в почвах Среднего Поволжья. Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: сб. тр. М.: изд-во МГУ, 1988. С. 162-166. Режим доступа: <https://istina.fnkerr.ru/publications/article/2077963/>
9. Троц В. Б., Ахматов Д. А., Троц Н. М. Влияние минеральных удобрений на аккумуляцию тяжелых металлов в почве и фитомассе зерновых культур. Зерновое хозяйство России. 2015;(1):45-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22994653>
10. Францева Т. П., Стрельников В. В., Сухомлинова А. Г., Мельченко А. И., Чернышева Н. В. Оценка влияния минеральных удобрений на агроэкологические показатели чернозема обыкновенного. Научный журнал КубГАУ. 2019;150(6):138-149. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-150-012>
11. Назарова Л. К., Дильмухаметова И. К., Егоров В. С., Кирпичников Н. А., Морачевская Е. В., Карпухин М. М. Влияние длительного применения минеральных удобрений и известкования на состояние и баланс свинца в агроценозе на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Московской области. Проблемы агрохимии и экологии. 2018;(2):18-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35216095>
12. Скипин Л. Н., Ваймер А. А., Квашина Ю. А., Судакова И. К. Загрязнение кадмием и свинцом почв в зоне автомагистрали. Плодородие. 2007;(3):37-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12773301>

13. Shikhova L. N. Heavy metals in soils and parent rocks of natural lands in north-east of European Russia. In the book: Heavy metals and other pollutants in the environment: biological aspects. Toronto, 2017. pp. 3-30. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315366029>
14. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
15. Дубенок Н. Н., Мажайский Ю. А., Евтюхин В. Ф., Тобратов С. А. Закономерности распределения тяжелых металлов в почвах лесных экосистем (на примере центральной части Рязанского региона). Доклады Российской сельскохозяйственной академии. 2011;(3):26-30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16243770>
16. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб.: ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. 254 с.
17. Черкасов Е. А., Саматов Б. К., Цаповская О. Н. Динамика содержания тяжелых металлов в почвах Ульяновской области. Агрохимический вестник. 2016;(1):12-14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25940645>
18. Шихова Л. Н. Сезонная динамика содержания тяжёлых металлов в пахотных почвах Таёжной зоны Кировской области. Доклады Российской сельскохозяйственной академии. 2008;(5):27-29.
19. Нестерова О. В., Трегубова В. Г., Семаль В. А. Использование нормативных документов для оценки степени загрязнения почв тяжелыми металлами. Почвоведение. 2014;(11):1375-1380. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22403790>
20. Соколов О. Я., Стряпков Х. Л., Антимонов С. В., Соловых С. Ю. Тяжелые металлы в системе элемент-почва-зерновые культуры. Вестник Оренбургского государственного университета. 2006;(4):106-110. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26224233>
21. Соколик Г. А., Овсянникова С. В., Попеня М. В., Войникова Е. В. Влияние влажности почвы на содержание кадмия, свинца и урана в подвижных формах. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2018;54(3):338-348. DOI: <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-338-348>

References

1. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 p. URL: http://www.pochva.com/?content=3&book_id=0579
2. Sindereva A. V., Maidanyuk G. A. *Ekologicheskaya otsenka deystviya svintsa v sisteme «pochva-rastenie-zhivotnoe» i razrabotka nauchno obosnovannykh priemov ego detoksikatsii*. [Ecological assessment of effect of lead in soil-plant-animal system and development of evidence-based receptions of its detoxication]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2018;(6):244-249. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36634866>
3. Shikhova L. N., Dabakh E. V. *Soderzhanie mikroelementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh Kirovskoy oblasti*. [Content of trace elements in soil-forming rocks of the Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2000;(2):13-16. (In Russ.).
4. Esmacili A., Moore F., Keshavarzi B., Jaafarzadeh N., Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *Catena*. 2014;(121):88-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.003>
5. Pobilat A. E., Voloshin E. I. *Osobennosti sodержaniya svintsa v pochvakh i rasteniyakh Sredney Sibiri*. [Peculiarities of lead content in soils and plants of Central Siberia]. *Mikroelementy v meditsine* = Trace Elements in Medicine (Moscow). 2017;18(4):36-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2017-18-4-36-40>
6. Vodyanitskiy Yu. N. *Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh*. [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow: *GNU Pochvennyy institut im. V. V. Dokuchaeva RASKhN*, 2008. 86 p. URL: <http://rmag.soil.msu.ru/articles/886.pdf>
7. Satarov G. A. *Ekologicheskie aspekty primeneniya agrokhimikatov*. [Ecological aspects of application of agrochemicals]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* = Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2013;(1):138-147. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20695427>
8. Samonova O. A., Aseeva E. N., *Formy soedineniy tyazhelykh metallov v pochvakh Srednego Povolzh'ya*. [Forms of heavy metal compounds in the soils of the Middle Volga region]. *Tyazhelye metally v okruzhayushchey srede i okhrana prirody: sb. tr.* [Heavy metals in the environment and nature protection: sat. tr.]. Moscow: *izd-vo MGU*, 1988. pp. 162-166. URL: <https://istina.fncrr.ru/publications/article/2077963/>
9. Trots V. B., Akhmatov D. A., Trots N. M. *Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na akkumulyatsiyu tyazhelykh metallov v pochve i fitomasse zernovykh kul'tur*. [Influence of fertilizers on accumulation of heavy metal in soil and phyto mass of grain crops]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2015;(1):45-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22994653>
10. Frantseva T. P., Strel'nikov V. V., Sukhomlinova A. G., Mel'chenko A. I., Chernysheva N. V. *Otsenka vliyaniya mineral'nykh udobreniy na agroekologicheskie pokazateli chernozema obyknovennogo*. [Evaluation of the influence of mineral fertilizers on agri-environmental indicators of ordinary black soil]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2019;150(06):138-149. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-150-012>

11. Nazarova L. K., Dil'mukhametova I. K., Egorov V. S., Kirpichnikov N. A., Morachevskaya E. V., Karpukhin M. M. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobreniy i izvestkovaniya na sostoyanie i balans svintsa v agrotsenoze na dervno-podzolistoy tyazhelosuglinistoy pochve Moskovskoy oblasti*. [Influence of long-term use of mineral fertilizers and liming on the state and balance of lead in agrocenosis on soddy-podzolic heavy loamy soil in the Moscow region]. *Problemy agrokhimii i ekologii* = Problemy agrokhimii i ekologii. 2018;(2):18-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35216095>
12. Skipin L. N., Vaymer A. A., Kvashina Yu. A., Sudakova I. K. *Zagryaznenie kadmii i svintsom pochv v zone avtomagistrali*. [Cadmium and lead pollution of soils in the motorway zone]. *Plodorodie*. 2007;(3):37-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12773301>
13. Shikhova L. N. Heavy metals in soils and parent rocks of natural lands in north-east of European Russia. In the book: Heavy metals and other pollutants in the environment: biological aspects. Toronto, 2017. pp. 3-30. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315366029>
14. Vinogradov A. P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh*. [Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1957. 238 p.
15. Dubenok N. N., Mazhayskiy Yu. A., Evtyukhin V. F., Tobratov S. A. *Zakonomernosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v pochvakh lesnykh ekosistem (na primere tsentral'noy chasti Ryazanskogo regiona)*. [Regularities of the distribution of heavy metals in soils of forest ecosystems (by the example of the central part of Ryazan region)]. *Doklady Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 2011;(3):26-30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16243770>
16. Nebol'sin A. N., Nebol'sina Z. P. *Izvestkovanie pochv (rezul'taty 50-letnikh polevykh opytov)*. [Soil liming (results of 50-year field experiments)]. Saint-Petersburg: GNU LNIISKh Rossel'khozakademii, 2010. 254 p.
17. Cherkasov E. A., Samatov B. K., Tsapovskaya O. N. *Dinamika sodержaniya tyazhelykh metallov v pochvakh Ul'yanovskoy oblasti*. [Dynamics of heavy metals content in soils of Ulyanovsk region]. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2016;(1):12-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25940645>
18. Shikhova L. N. *Sezonnaya dinamika sodержaniya tyazhelykh metallov v pakhotnykh pochvakh Tazhnnoy zony Kirovskoy oblasti*. [Seasonal dynamic of heavy metals (pb, cd, cr) contents in arable soils of Taiga zone of Kirov area]. *Doklady Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 2008;(5):27-29. (In Russ.).
19. Nesterova O. V., Tregubova V. G., Semal V. A. *Ispol'zovanie normativnykh dokumentov dlya otsenki stepeni zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami*. [Use of regulatory documents for assessing the contamination of soils with heavy metals]. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2014;(11):1375-1380. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22403790>
20. Sokolova O. Ya., Stryapkov Kh. L., Antimonov S. V., Solovykh S. Yu. *Tyazhelye metally v sisteme element-pochva-zernovye kul'tury*. [Heavy metals in the system element - soil - grains]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Vestnik of the Orenburg State University. 2006;(4):106-110. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26224233>
21. Sokolik G. A., Ovsyannikova S. V., Popenya M. V., Voynikova E. V. *Vliyanie vlazhnosti pochvy na sodержanie kadmiya, svintsa i urana v podvizhnykh formakh*. [The influence of soil humidity on the content of cadmium, lead and uranium mobile species]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series. 2018;54(3):338-348. (In Belarus). DOI: <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-338-348>

Сведения об авторах

✉ **Чеглакова Оксана Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории селекции овощеводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3227-6274>, e-mail: ovoshevodstvonii@mail.ru

Шихова Людмила Николаевна, доктор с.-х. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела эдафической устойчивости растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7371-7588>

Information about the authors

✉ **Oksana A. Cheglakova**, junior researcher, the Laboratory of Vegetable Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin St., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3227-6274>, e-mail: ovoshevodstvonii@mail.ru

Lyudmila N. Shikhova, DSc in Agriculture, professor, leading researcher, the Department of Plant Edaphic Resistance, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a Lenin St., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7371-7588>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области

© 2021. И. В. Лыскова¹✉, О. Э. Суховеева², Т. В. Лыскова¹

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

²ФГБУН Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

На основе многолетних метеорологических данных и результатов исследований в длительном стационарном опыте за 1971–2020 гг. проведен ретроспективный анализ изменения температуры воздуха и количества осадков в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области и оценено их влияние на динамику урожайности яровых зерновых культур. Установлено, что среднегодовая температура воздуха за период исследований была равна $2,4 \pm 1,0$ °C. При этом наблюдался ее устойчивый положительный тренд со скоростью $0,39$ °C/10 лет. Два десятилетия с 2001 по 2020 г. отмечены как самые теплые за 50 лет с температурой воздуха выше климатической нормы на $0,7...2,6$ °C. Гидротермический коэффициент Селянинова ($0,7...2,1$) свидетельствует о контрастных условиях увлажнения вегетационных периодов в годы исследований – от засушливых до избыточно увлажненных. В длительном опыте урожайность яровых зерновых культур возрастала в ряду пшеница – ячмень – овес: $2,17 \pm 0,86$, $3,04 \pm 0,61$, $3,39 \pm 0,65$ т/га соответственно. Отмечены сильные корреляции между средней урожайностью яровой пшеницы и погодными условиями в июне: обратная с температурой воздуха ($r_p = -0,735$) и прямая с количеством осадков ($r_p = 0,686$). Установлено, что применение фосфорных удобрений (и их последствие) в комплексе с азотно-калийными ослабляло влияние погодных условий на продуктивность яровой пшеницы: коэффициенты детерминации (R^2), отражающие долю вариальности урожайности от погодных условий, составили $0,59-0,73$ в варианте без удобрений и снизились до $0,50-0,56$ при внесении NP_3K .

Ключевые слова: полевой опыт, дерново-подзолистая почва, минеральные удобрения, урожайность, пшеница, ячмень, овес, теплообеспеченность, влагообеспеченность, климатические изменения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0100) и Государственного задания Института географии РАН (тема № 0148-2019-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В., Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;22(2):244–253. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>

Поступила: 19.01.2021

Принята к публикации: 29.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region

© 2021. Irina V. Lyskova¹✉, Olga E. Sukhoveeva², Tatiana V. Lyskova¹

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

On the basis of long-term meteorological data and research results in a long-term stationary experiment of 1971–2020 a retrospective analysis of changes in air temperature and precipitation in the eastern region of the central climatic zone of the Kirov region was carried out and the influence of these characteristics on the dynamics of the yield of spring cereals was estimated. It has been established that the average annual air temperature during the research period was 2.4 ± 1.0 °C. At the same time, its stable positive trend was observed at the rate of 0.39 °C/10 years. Two decades from 2001 to 2020 were recorded as the warmest for 50 years, when the temperature was $0.7...2.6$ °C above climate normal. Selyaninov hydrothermal coefficient ($0.7...2.1$) testifies to the contrasting conditions of humidification of the vegetation periods during the research years – from drought to excessively humidified. In a long-term experiment, the yield of spring cereals increased in the row wheat – barley – oats: 2.17 ± 0.86 , 3.04 ± 0.61 , 3.39 ± 0.65 t/ha, respectively. Strong correlations were marked between the average yield (spring wheat) and weather conditions in June: reverse with air temperature ($r_p = -0.735$) and direct with the amount of precipitation ($r_p = 0.686$). It has been established that the use of phosphorus fertilizers (and their aftereffect) in combination with nitrogen-potassium fertilizers weakened the influence of weather conditions on the productivity of spring wheat: the determination coefficients (R^2), which reflect the portion of variability due to weather conditions, were $0.59-0.73$ for the variant without fertilizers and decreased to $0.50-0.56$ when applying NP_3K .

Keywords: field experiment, sod-podzolic soil, mineral fertilizers, productivity, wheat, barley, oats, heat availability, moisture availability, climate change

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0100) and the state assignment of Institute of Geography RAS (theme No. 0148-2019-0009).

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

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

For citation: Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22 (2):244-253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>

Received: 19.01.2021

Accepted for publication: 29.03.2021

Published online: 19.04.2021

По мнению большинства ученых, влияние глобального изменения климата на окружающую среду – одна из серьезнейших проблем современности¹ [1, 2]. Особенно она актуальна в России, поскольку за 1976-2019 гг. скорость роста среднегодовой температуры воздуха (0,47 °C/10 лет) на ее территории была в 2,5 раза больше скорости роста глобальной температуры (0,17-0,18 °C/10 лет) и более чем в 1,5 раза выше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара (0,28-0,29 °C/10 лет). Количество осадков в России также увеличивается (2,2 % нормы за 10 лет), главным образом за счет осадков весеннего сезона (5,7 % нормы за 10 лет) [3].

Особенно остро вопрос потепления стоит для сельского хозяйства как одной из климатозависимых отраслей экономики. Описанные изменения приводят к снижению урожайности полевых культур, а это, в свою очередь, ставит под угрозу долгосрочную продовольственную безопасность [4]. Более того, климат влияет на все компоненты растениеводства – не только на продуктивность культур, но и на их площади (посева и уборки) и интенсивность возделывания (число культур, возделываемых в течение года) [5].

С другой стороны, сельское хозяйство находится под непосредственным влиянием антропологических факторов в виде механизации, химизации, селекции, развитие которых позволяет не только наращивать агротехнический потенциал, но и противостоять неблагоприятным погодным условиям.

Решить проблему количественной оценки указанных воздействий помогают длительные опыты, позволяющие накопить достаточные для статистической оценки ряды данных и

отражающие влияние внешних условий на исследуемые показатели². Ярким примером такого полевого эксперимента служит расположенный в Кировской области длительный стационарный опыт лаборатории агрохимии и качества зерна Фалёнской селекционной станции (филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока), продолжительность которого превышает 40 лет.

Кировская область расположена в восточной части Европейской России между 61° и 56° северной широты. На ее территории выделены 3 агроклиматические зоны, отличающиеся по природным и климатическим факторам: северная, центральная и южная. В свою очередь центральная агроклиматическая зона поделена на восточный и западный районы³. Область находится в зоне рискованного земледелия, и роль климата для регионального сельского хозяйства является определяющей. Исторически сложившаяся ориентация на молочно-мясное скотоводство обуславливает развитие растениеводства в направлении кормопроизводства [6]. Удельный вес посевных площадей в области составляет всего 1 % от общих посевных площадей РФ. При этом ячмень занимает 11,4 % от общей площади пашни, яровая пшеница – 9 %, овёс – 5,5 % при средней урожайности⁴ за 2010-2019 гг. 2,05 т/га, 1,68, 2,01 т/га соответственно.

В Кировской области среди пахотных земель преобладают дерново-подзолистые почвы (82,3 % площади пашни), из которых около 75 % площади пашни – это кислые [7, 8]. Применение удобрений является необходимым условием получения высокой урожайности на дерново-подзолистых почвах с низким естественным плодородием. Эффективность средств химизации тесно связана с погодными условиями.

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М., 2020. 97 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteorf.ru/press/news/20626/> (дата обращения 30.09.2020).

² Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Альянс, 2011. 350 с.

³ Агроклиматический справочник по Кировской области. Л.: ГИМИЗ, 1960. 192 с.

⁴ Единая межведомственная информационно-статистическая система. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения 03.12.2020).

Неблагоприятные факторы среды отрицательно сказываются на эффективности удобрений в большей степени на слабоокультуренных почвах, особенно с низким содержанием подвижного фосфора [9].

В то же время изучение научной литературы показало, что в условиях Кировской области установлено достоверное влияние на урожайность пшеницы суммы осадков и гидротермического коэффициента (ГТК) [10], на урожайность овса и ячменя – суммы эффективных температур и ГТК [11, 12]. В данных работах погодно-климатические параметры приводятся за короткий период изучения (от 7 до 18 лет). В связи с этим новизна нашей работы заключается в том, что мы проанализировали экспериментальные данные по влиянию метеопараметров на урожайность сельскохозяйственных культур за более долгосрочный период (50 лет) с учетом внесения удобрений и их последствия.

Цель исследований – провести ретроспективный анализ изменения температуры воздуха и количества осадков в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области и оценить их влияние на динамику урожайности яровых зерновых культур на основе данных длительного стационарного опыта.

Материал и методы. Материалами исследования послужили многолетние данные Фалёнской метеостанции (58.3° северной широты, 51.6° восточной долготы, высота над уровнем моря 178 м) и длительного стационарного опыта лаборатории агрохимии и качества зерна Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за 1971-2020 гг. Метеостанция и стационарный опыт находятся на расстоянии примерно 3 км, чем обеспечивается принцип единства места наблюдения.

Отклонения метеозначений от «климатической нормы» приведены в сравнении с многолетними средними за базовый период, за который, согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), признается 1961-1990 гг.⁵

Разделение лет на теплые и холодные проводили по значению среднего отклонения (Δ)⁶:

- при $\Delta < |0,4|^\circ\text{C}$ – год считается в пределах нормы;
- при $|0,4|^\circ\text{C} < \Delta < |0,7|^\circ\text{C}$ – год холодный / теплый;
- при $\Delta > |0,7|^\circ\text{C}$ – год очень холодный / очень теплый.

Полевой опыт был заложен в 1971 г. в восточном агропочвенном районе центральной климатической зоны Кировской области. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на покровных суглинках. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта (в 1971 г.): pH_{KCl} 4,2-4,5; Нг 5,4-6,7 мг-экв/100 г; содержание подвижных фосфора и калия 71-73 и 90-116 мг/кг соответственно.

Опыт проводили в зернопаротравяном севообороте: чистый пар, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер луговой 1 года пользования (г. п.), клевер 2 г. п., яровая пшеница, овёс (до 1992 г. в 6 поле севооборота возделывали ячмень). В опыте выращивали сорта: яровой пшеницы – Диамант, Ленинградка, Ирень, Баженка; ячменя – Винер, Московский 121, Север, Дина; овса – Фалёнский 3, Факир, Скороспелый, Аргамак, Дэнс, Кречет. Общая площадь делянки 40,25 м², повторность четырехкратная.

Варианты длительного стационарного опыта различались по содержанию подвижного фосфора в почве с учетом ранее внесенного фосфорного удобрения согласно схеме опыта (табл. 1). С 1976 по 2007 г. фосфорные удобрения не вносили – изучали их последствие. Опыт имел два почвенных фона: «без извести» – (0), «известь по 1 г. к.» – (1). Известкование проводили доломитовой мукой по полной величине гидролитической кислотности в 1971, 1979, 1987 и 2009 гг.

Изначально длительный опыт был заложен с целью изучения последствий высоких доз фосфорных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистых почв, продуктивность и качество с.-х. культур [13]. В дальнейшем проводили изучение эффективности минеральных удобрений (возрастающие дозы суперфосфата с умеренными азотно-калийными) на агрохимические свойства почвы, урожайность и качество культур [14, 15].

⁵Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО. 2017. № 1203. [Электронный ресурс]. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (дата обращения 10.03.2020).

⁶Источник информации: пресс-служба Примгидромета (Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pfo.meteorf.ru/news/2016-pervoe-polugodie/klimaticheskaya-norma-i-otkloneniya-ot-nee.html> (дата обращения 12.10. 2020).

Таблица 1 – Схема опыта /
 Table 1 – Experiment plan

№ варианта / № of variant	1971...1975 гг.	2008...2014 гг.	2015...2021 гг.	Условное обозначение вариантов / Symbolic notation of variants
1	Контроль, без удобрений / Control without fertilizers			0
2	N ₉₀	N ₉₀	N ₉₀	N
3	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₁ K
4	N ₉₀ P ₁₈₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₂ K
5	N ₉₀ P ₂₇₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₁₅₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₃ K
6	N ₉₀ P ₃₆₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₂₀₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₄ K

Статистическую обработку данных проводили, используя оценку статистических параметров выборки (стандартная ошибка среднего), корреляционный и регрессионный анализы с помощью пакета программ AGROS – версия 2.07.

В качестве объекта для регрессионного анализа была выбрана яровая пшеница – культура, доля которой в севообороте наибольшая (продолжительность ряда данных составила 13 лет). В связи с тем, что дозы вносимых удобрений изменялись, было принято решение взять для регрессионного анализа два варианта: «без удобрений» (с разделением на фон: «без извести» – (0), «известь по 1 г. к.» – (1)) и «NP₃K» (также с разделением на фоны) как наиболее полный по количеству данных.

Результаты и их обсуждение. В восточном районе центральной агроклиматиче-

ской зоны Кировской области в 1971-2020 гг. среднегодовая температура воздуха была равна 2,4±1,0 °С. При этом наблюдался ее устойчивый положительный тренд со скоростью 0,39 °С/10 лет (рис. 1). Период с 2001 по 2020 гг. отмечен как самый теплый за последние 50 лет – среднегодовая температура воздуха была выше климатической нормы на 0,7...2,6 °С, достигнув своего максимума в 2008 г. – 4,2 °С (табл. 2). Также произошло увеличение количества дней со среднесуточной температурой выше 15 °С на 29 %. Для сравнения, в западном районе центральной зоны средняя годовая температура воздуха за последние 25 лет также повысилась на 0,3...0,4 °С, причем основное ее повышение (1,0...1,1 °С) происходило в холодный период (ноябрь-март), тогда как в теплый (апрель-октябрь) она понизилась на 0,4...0,5 °С [16].

Таблица 2 – Анализ метеоусловий за 1971-2020 гг. в районе исследований /
 Table 2 – Analysis of meteorological conditions for 1971-2020 in the research area

Период лет / Period of years	Год с min/max значением / The year with min/max value	Количество лет / Number of years			Количество дней со среднесу- точной темпе- ратурой выше 15 °C / The number of days with an average daily temperature above 15 °C	Год с min/max значением / The year with min/max value	Количество лет (сухих / влажных) / the number of years (dry / wet)
		в пределах нормы / within normal limits	холодных / теплых / cold / warm	очень холодных / очень теплых / very cold/ very warm			
	среднеголетняя годовая температура воздуха 1,6°C* / average annual air temperature 1.6°C*					среднеголетнее годовое количество осадков 607 мм** / average annual precipitation 607 mm**	
1971- 1980	1976 (0,1 °C) 1975 (3,3 °C)	6	-/-	2/2	35...72	1973 (456 мм / mm) 1971 (708 мм / mm)	5/5
1981- 1990	1987 (0,7 °C) 1981 (3,7 °C)	2	1/1	2/4	48...86	1981 (464 мм / mm) 1984 (735 мм / mm)	3/7
1991- 2000	1994 (1,5 °C) 1995 (3,9 °C)	6	-/1	-/3	49...83	1996 (489 мм / mm) 1998 (783 мм / mm)	5/5
2001- 2010	2002 (2,3 °C) 2008 (4,2 °C)	-	-/2	-/8	51...83	2010 (512 мм / mm) 2002 (763 мм / mm)	5/5
2011- 2020	2014 (2,5 °C) 2020 (4,1 °C)	-	-/-	-/10	65...88	2014 (574 мм / mm) 2019 (827 мм / mm)	2/8

*, ** – за базовый период 1961-1990 гг. / *, ** – for the base period 1961-1990

Сумма активных температур, отражающая теплообеспеченность района исследований и необходимая для полного развития и созревания яровых культур, составила 1800 ± 144 °С, что находится в пределах, обусловленных географическим положением региона ($1700 \dots 1900$ °С) [17]. Показатель достиг максимума в 2010 г. и составил 2085 °С.

Вторым важнейшим метеопараметром является количество выпавших осадков, которое определяет влагообеспеченность

территории. В среднем оно составило $637,4 \pm 86,6$ мм и варьировало в «сухие» годы от 75 до 95 %, во «влажные» – от 117 до 129 %. При этом 283,3 мм выпадало в холодный период и 254,0 мм – в теплый, хотя направленного тренда динамики выпадения осадков выявить не удалось (рис. 1). Тогда как в западном районе центральной климатической зоны количество осадков увеличилось и в теплый период на 30-40 мм, и в холодный – на 60-70 мм [16].

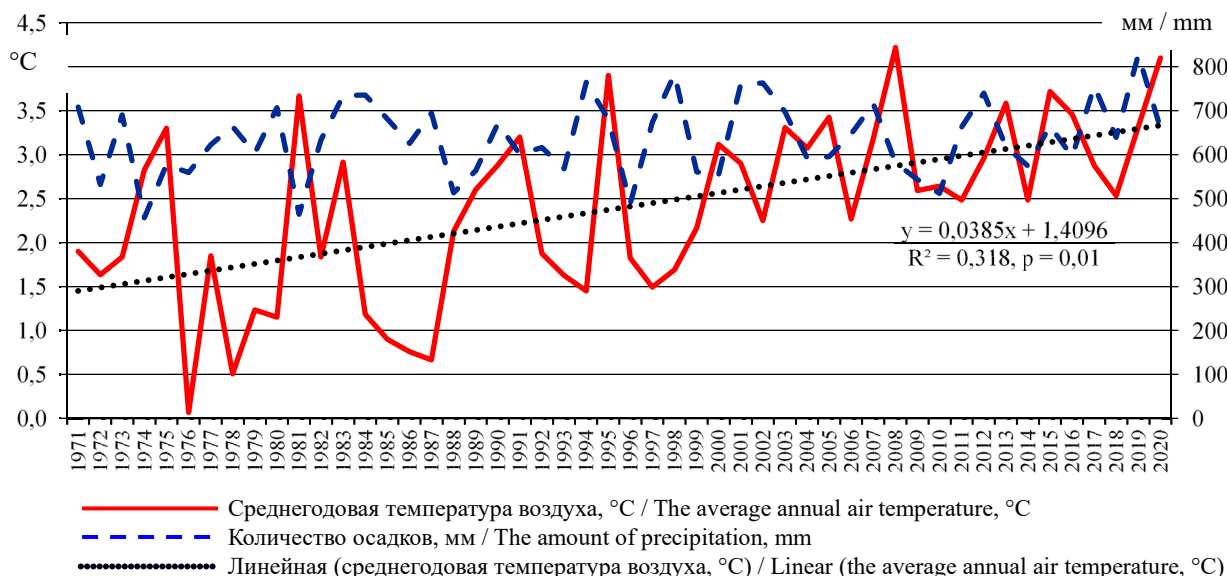


Рис. 1. Динамика среднегодовых температур воздуха и количества осадков за 1971-2020 гг. в районе исследований /

Fig. 1. Dynamics of average annual air temperatures and precipitation in the research area for 1971-2020

В 1971-2020 гг. вегетационный период (май, июнь, июль, август) в 68 % лет был теплый, из них 26 % лет влажный и 42 % лет сухой, и в 32 % лет был прохладный, из них с недостатком увлажнения – 12 %, с избытком – 20 %.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) за годы исследований варьировал в широких пределах (от 0,7 до 2,1), указывая на контрастные условия увлажнения вегетационных периодов: от засушливых до избыточно увлажненных. Необходимо отметить, что в самый засушливый 2010 г. ГТК составил в мае 0,4, в июне – 1,5, в июле – 0,2, в августе – 1,1.

Урожайность яровых зерновых культур в стационарном опыте за 1971-2020 гг. возрастала в ряду пшеница – ячмень – овес: $2,17 \pm 0,86$, $3,04 \pm 0,61$, $3,39 \pm 0,65$ т/га соответственно. При внесении удобрений она повышалась во всех вариантах опыта (табл. 3).

Негативные последствия изменений климата заключаются в росте вариабельности

урожайности сельскохозяйственных культур в последние три десятилетия и повышении ее зависимости от складывающихся погодноклиматических условий [18]. Коэффициент вариации урожайности яровых зерновых в опыте также был высоким: на фоне «без извести» он составил 34-41 %, на фоне «известь по 1 г.к.» – 35-37 %. Наибольшее варьирование урожайности отмечено у пшеницы, при этом с улучшением питательного режима почвы (за счет внесения удобрений и накопления в почве доступных элементов питания) коэффициент вариации снижался с 40-45 до 35-40 %. По данным других исследователей, внесение минеральных удобрений привело к стабилизации урожайности злаковых фитоценозов – коэффициент вариации снизился с 61 % (контроль) до 27-29 % (варианты с NPK) [16].

Пшеница, ячмень и овес имеют разную биологию развития и требования к условиям произрастания, но объединяет их критический

Таблица 3 – Урожайность яровых зерновых культур в длительном стационарном опыте Фалёнской селекционной станции, т/га (1971-2020 гг.) /
Table 3 – Yield of spring cereals in the long-term stationary experiment of the Falenskaya breeding station, t / ha (1971-2020)

Вариант (фактор B) / Variant (factor B)	Пшеница (n = 13) / Wheat (n = 13)				Ячмень (n = 4) / Barley (n = 4)				Овёс (n = 6) / Oats (n = 6)			
	Фон (фактор A) / background (factor A)				Фон (фактор A) / background (factor A)				Фон (фактор A) / background (factor A)			
	0*	I**	среднее по фактору B / average factor B	0	I	среднее по фактору B / average factor B	0	I	среднее по фактору B / average factor B	0	I	среднее по фактору B / average factor B
Без удобрений / Without fertilizers	1,46±0,34	1,85±0,51	1,66±0,43	1,91±0,53	2,05±0,59	1,98±0,56	1,95±0,32	2,32±0,28	2,14±0,30	1,95±0,32	2,32±0,28	2,14±0,30
N	1,83±0,49	2,16±0,52	2,00±0,51	2,59±0,58	2,88±0,51	2,74±0,55	2,85±0,41	3,44±0,50	3,15±0,46	2,85±0,41	3,44±0,50	3,15±0,46
NP ₁ K	2,11±0,60	2,39±0,56	2,25±0,58	2,89±0,67	3,14±0,63	3,02±0,65	3,33±0,75	3,71±0,74	3,52±0,75	3,33±0,75	3,71±0,74	3,52±0,75
NP ₂ K	2,19±0,63	2,41±0,60	2,30±0,62	3,08±0,65	3,42±0,71	3,25±0,68	3,62±0,77	3,75±0,76	3,69±0,77	3,62±0,77	3,75±0,76	3,69±0,77
NP ₃ K	2,26±0,59	2,49±0,61	2,38±0,60	3,32±0,79	3,70±0,80	3,51±0,80	3,66±0,58	3,95±0,56	3,81±0,57	3,66±0,58	3,95±0,56	3,81±0,57
NP ₄ K	2,26±0,59	2,56±0,58	2,41±0,59	3,57±0,65	3,90±0,77	3,74±0,71	3,80±0,84	4,23±0,66	4,02±0,75	3,80±0,84	4,23±0,66	4,02±0,75
Среднее по фактору A / Average factor A	2,02±0,54	2,31±0,56	-	2,89±0,65	3,18±0,67	-	3,20±0,61	3,57±0,58	-	3,20±0,61	3,57±0,58	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	A = 0,14; B = 0,15				A = 0,29; B = 0,27				A = 0,08; B = 0,29			

*Без известкования, **Известь по 1 г. к. / *Without liming, ** Lime, 1 g. k.

период по отношению к засухе, приходящийся на фазы «кущение-выход в трубку» и, особенно, «трубкование-колошение (выметывание)», когда формируются генеративные органы [10, 11, 19]. Календарно этот период приходится в центральной агроклиматической зоне на июнь. Например, отмечены сильные корреляции между средней урожайностью яровой пшеницы и погодными условиями в июне: обратная с температурой воздуха ($r_p = -0,735$, $p = 0,004$, $n = 13$) и прямая с количеством осадков ($r_p = 0,686$, $p = 0,010$, $n = 13$). Отрицательная корреляция продуктивности с температурой подтверждается многочисленными исследованиями. Так, по прогнозу [20] при повышении температуры на 2 °C выше нормы урожайность пшеницы снизится на 12,2 %. Зависимость от количества июньских осадков сильнее выражена в вариантах без внесения удобрений ($r_p = 0,616-0,797$) по сравнению с делянками, где использовались минеральные удобрения ($r_p = 0,556-0,622$). Уравнения влияния метеофакторов на продуктивность культуры по результатам регрессионного анализа представлены в таблице 4.

Коэффициент R^2 показывает вклад природных и антропогенных факторов в формирование урожая зерна: в среднем по опыту он составил 64 (при учете только климатического фактора) и 68 % (при дополнительном включении фактора удобрений). Наиболее высокие коэффициенты детерминации, отражающие долю вариальности, объясняемую погодными условиями, отмечены в варианте без удобрений (0,59-0,73), тогда как при их внесении они снижаются (0,50-0,56). Таким образом, в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области погодные условия обуславливают больше половины наблюдаемой дисперсии продуктивности. Эти значения следует признать достаточно высокими, поскольку по усредненным оценкам изменчивость климата объясняет четверть изменчивости урожайности [21].

Таблица 4 – Результаты статистического анализа влияния погодных условий по вариантам опыта («без удобрений» и «NP₃K») на урожайность яровой пшеницы /

Table 4 – Results of the statistical analysis of the influence of weather conditions for the variants of the experiment "without fertilizers" and "NP₃K" on the yield of spring wheat

Вариант / Variant	Фон / Background	Уравнение регрессии / Regression equation	Коэффициент детерминации, R ² / Determination coefficient, R ²	Коэффициенты корреляции (p<0,05; n = 13) / Correlation coefficients (p<0,05; n = 13)	
				c T _{VI} / on T _{VI}	c P _{VI} / on P _{VI}
Без удобрений / Without fertilizers	0	$Y = 3,765 - 0,173T_{VI} + 0,006O_{VI}$	0,59	-0,73	0,62
	1	$Y = 3,504 - 0,175T_{VI} + 0,018O_{VI}$	0,73	-0,71	0,80
NP ₃ K	0	$Y = 6,816 - 0,327T_{VI} + 0,007O_{VI}$	0,56	-0,73	0,56
		$Y = 6,076 + 0,002P - 0,316T_{VI} + 0,013O_{VI}$	0,60		
	1	$Y = 5,101 - 0,224T_{VI} + 0,014O_{VI}$	0,50	-0,63	0,62
		$Y = 4,338 + 0,002P - 0,213T_{VI} + 0,020O_{VI}$	0,54		
Среднее по опыту / Average for the experiment		$Y = 5,083 - 0,239T_{VI} + 0,012O_{VI}$	0,64	-0,73	0,69
		$Y = 4,374 + 0,003P - 0,226T_{VI} + 0,017O_{VI}$	0,68		

Примечания: 0 – без известкования; 1 – известь по 1 г. к.; Y – урожайность яровой пшеницы, т/га; T_{VI} – температура воздуха в июне, °C; O_{VI} – количество осадков в июне, мм; P – доза фосфорных удобрений, кг/га / Note: 0 – without liming, 1 – lime 1g.k.; Y – spring wheat yield, t/ha; T_{VI} – air temperature in June, °C; O_{VI} – the amount of precipitation in June, mm; P – dose of phosphorus fertilizers, kg / ha

Важно отметить, что включение количества вносимых фосфорных удобрений в качестве независимой переменной в регрессионные уравнения повышает коэффициент детерминации на 0,04, причем как в варианте с NP₃K, так и для средней по опыту урожайности. Это говорит о том, что агрохимический фактор обуславливает 4 % вариабельности урожайности яровой пшеницы, что подтверждает сделанный ранее вывод, согласно которому для многих культур усиление интенсификации сельскохозяйственного производства уменьшает влияние неблагоприятных условий внешней среды на продуктивность [22].

В наших исследованиях применение удобрений ослабило влияние погодных условий на продуктивность яровых культур. Коэффициент корреляции между средней урожайностью яровых культур и ГТК в июне за годы исследований (1971-2020 гг.) на произвесткованном фоне составил 0,703 (p = 0,05, n = 23) в варианте «без удобрений», тогда как при внесении удобрений в дозе NP₃K снизился до 0,471 (p = 0,05, n = 23). Другие агрохимические опыты также доказывают практическую возможность снижения негативного влияния метеоусловий при рациональном подборе системы удобрения и средств защиты растений [9]. Особенно важно внесение фосфорных удобрений имеет в засушливые годы, т. к. растения используют питательные вещества не

из сухих, а из влажных слоев почвы, больше потребляя фосфор удобрений, а не фосфаты почвы [23].

Заклучение. В восточном районе центральной климатической зоны Кировской области за период с 1970 по 2020 г. наиболее устойчивой положительной трендовой направленностью отличается среднегодовая температура воздуха при скорости 0,39 °C/10 лет. Два десятилетия с 2001 по 2020 г. отмечены как самые теплые за последние 50 лет, когда среднегодовая температура была выше нормы на 0,7...2,6 °C.

В длительном опыте Фалёнской селекционной станции урожайность яровых зерновых культур возрастала в ряду пшеница – ячмень – овес: 2,14±0,86, 3,04±0,61, 3,30±0,65 т/га соответственно. При этом отмечены сильные корреляции между средней урожайностью яровой пшеницы и погодными условиями в июне: обратная с температурой воздуха (r_p = -0,735) и прямая с количеством осадков (r_p = 0,686).

Применение фосфорных удобрений (и их последствие) в комплексе с азотно-калийными ослабляло влияние погодных условий на продуктивность яровой пшеницы: наиболее высокие коэффициенты детерминации, отражающие долю вариабельности урожайности от погодных условий, отмечены в варианте «без удобрений» (R² = 0,59-0,73), в варианте NP₃K они снижались (R² = 0,50-0,56).

Список литературы

1. Иванов А. Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России. Земледелие. 2009;(1):3-5.
2. Lobell D. B., Schlenker W. S., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. Science. 2011;333(6042):616-620. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
3. Кошкин Е. И., Андреева И. В., Гусейнов Г. Г. Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам. Агрохимия. 2019;(12):83-96. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120068>
4. Ahmed M. N. Economic assessment of the impact of climate change on the agriculture of Pakistan. Mirza Nomman Ahmed, Michael Schmitz. Business and Economic Horizons. 2011;4(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.15208/beh.2011.1>
5. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity? Global food security. 2015;(4):46-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>
6. Смоленцева Е. В. Природно-климатические факторы экономической эффективности сельскохозяйственного производства Кировской области. Modern Economy Success. 2017;(3):19-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29986454>
7. Тюлин В. В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отд., 1976, 288 с.
8. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных почв Кировской области. Земледелие. 2016;(8):16-18.
9. Сычев В. Г., Романенков В. А., Шевцова Л. К., Рухович О. В. Современные направления исследований и результаты длительных полевых опытов Геосети. Плодородие. 2014;(5):2-5. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22454350>
10. Волкова Л. В. Урожайность яровой пшеницы и её связь с элементами продуктивности в разные по метеорологическим условиям годы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;6(55):9-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27296708>
11. Щенникова И. Н. Влияние погодных условий на рост и развитие растений ячменя в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;4(41): 9-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>
12. Лисицын Е. М. Урожайность овса и ячменя в меняющихся погодно-климатических условиях Кировской области. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VI Международ. научн.-практ. конф. (к 125-летию Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого). Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2020. С. 130-135. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44051872&selid=44125180>
13. Калинин А. И. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров, 2004. 220 с.
14. Лыскова И. В., Рылова О. Н., Веселкова Н. А., Лыскова Т. В. Влияние удобрений и извести на агрохимические показатели и фосфатный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;2(45):27-32. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2015.45.2.27-32>
15. Лыскова И. В. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность и качество зерновых культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;6(61):35-40. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.35-40>
16. Ковшова В. Н. Приемы, повышающие устойчивость луговых агрофитоценозов в условиях изменения климата в Волго-Вятском экономическом районе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012;5(30):31-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17953676>
17. Френкель М. О., Переведенцев Ю. П., Соколов В. В. Климатический мониторинг Кировской области. Казань, 2012. 263 с.
18. Суховеева О. Э. Анализ влияния агроклиматических факторов на урожайность озимой ржи в Центральном Нечерноземье. Метеорология и гидрология. 2014;(11):74-82. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22476069>
19. Баталова Г. А. Овес в Волго-Вятском регионе. Киров: ООО «Орма», 2013. 288 с.
20. Lone B. A., Qayoom S., Singh P., Dar Z. A., Kumar S., Dar N. A., Fayaz A., Ahmad N., Lyaket, Bhat M. I., Singh G. Climate change and its impact on crop productivity. British journal of applied science & technology. 2017;21(5):1-15. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2017/34148>
21. Kukal M. S., Irmak S. Climate-driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. Great Plains agricultural production. Scientific reports. 2018;(8):3450. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21848-2>
22. Суховеева О. Э. Влияние современных изменений климата на продуктивность сельскохозяйственных культур в Нечерноземье. География и природные ресурсы. 2014;(2):71-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21532917>
23. Соколов А. В. Агрохимия фосфора. М.: изд-во Академии наук СССР, 1950. 152 с.

References

1. Ivanov A. L. *Global'noe izmenenie klimata i ego vliyaniye na sel'skoye khozyaystvo Rossii*. [Global climate change and its impact on Russian agriculture]. *Zemledelie*. 2009;(1):3-5. (In Russ.).
2. Lobell D. B., Schlenker W. S., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011;333(6042):616-620. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
3. Koshkin E. I., Andreeva I. V., Guseynov G. G. *Vliyaniye global'nykh izmeneniy klimata na produktivnost' i ustoychivost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur k stressoram*. [Impact of global climate change on productivity and stress tolerance of field crops]. *Agrokhiimiya*. 2019;(12):83-96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120068>
4. Ahmed M. N. Economic assessment of the impact of climate change on the agriculture of Pakistan. Mirza Nomman Ahmed, Michael Schmitz. *Business and Economic Horizons*. 2011;4(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.15208/beh.2011.1>
5. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity? *Global food security*. 2015;(4):46-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>
6. Smolentseva E. V. *Prirodno-klimaticheskie faktory ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva Kirovskoy oblasti*. [Natural-climatic factors of economic efficiency of agricultural production of Kirov region]. *Modern Economy Success*. 2017;(3):19-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29986454>
7. Tyulin V. V. *Pochvy Kirovskoy oblasti*. [Soils of the Kirov region]. Kirov: *Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, Kirovskoe otd.*, 1976, 288 p.
8. Molodkin V. N., Busygin A. S. *Plodorodie pakhotnykh pochv Kirovskoy oblasti*. [Fertility of arable soils of Kirov region]. *Zemledelie*. 2016;(8):16-18. (In Russ.).
9. Sychev V. G., Romanenkov V. A., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V. *Sovremennyye napravleniya issledovaniy i rezul'taty dlitel'nykh polevykh opytov Geoseti*. [Modern fields of research and results in Geonetwork system of long-term experiments]. *Plodorodie*. 2014;(5):2-5. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22454350>
10. Volkova L. V. *Urozhaynost' yarovoy pshenitsy i ee svyaz' s elementami produktivnosti v raznye po meteorologicheskim usloviyam gody*. [Productivity of spring wheat and its relation to elements of yield structure in years differ by meteorological conditions]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;6(55):9-15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27296708>
11. Shchennikova I. N. *Vliyaniye pogodnykh usloviy na rost i razvitiye rasteniy yachmenya v Kirovskoy oblasti*. [Influence of weather conditions on growth and development of barley plants in Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;4(41):9-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>
12. Lisitsyn E. M. *Urozhaynost' ovsa i yachmenya v menyayushchikhsya pogodno-klimaticheskikh usloviyakh Kirovskoy oblasti*. [Productivity of oats and barley in the changing weather and climatic conditions of the Kirov region]. *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rasteniyevodstve: mat-ly VI Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf. (k 125-letiyu Federal'nogo agrarnogo nauchnogo tsentra Severo-Vostoka imeni N. V. Rudnitskogo)*. [Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the VIth International scientific and practical Conference (dedicated to the 125th anniversary of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky)]. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka*, 2020. pp. 130-135. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44051872&selid=44125180>
13. Kalinin A. I. *Agrokhimicheskie svoystva dernovo-podzolistykh pochv i produktivnost' rasteniy*. [Agrochemical properties of sod-podzolic soils and plant productivity]. Kirov, 2004. 220 p.
14. Lyskova I. V., Rylova O. N., Veselkova N. A., Lyskova T. V. *Vliyaniye udobreniy i izvesti na agrokhimicheskie pokazateli i fosfatnyy rezhim dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochvy*. [Influence of mineral fertilizers and lime on agrochemical parameters and phosphorus regimes of medium-loamy sod-podzolic soil]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;2(45):27-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2015.45.2.27-32>
15. Lyskova I. V. *Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na plodorodie dernovo-podzolistoy pochvy, urozhaynost' i kachestvo zernovykh kul'tur*. [Influence of mineral fertilizers on fertility of sod-podzolic soil, productivity and quality of grain crops]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;6(61):35-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.35-40>
16. Kovshova V. N. *Priemy, povyshayushchie ustoychivost' lugovykh agrofytotsenozov v usloviyakh izmeneniya klimata v Volgo-Vyatskom ekonomicheskoy rayone*. [Methods of increasing of stability of meadow agro-phytocenoses under condition of climate change in Volga-Vyatka economic region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2012;5(30):31-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17953676>
17. Frenkel M. O., Perevedentsev Yu. P., Sokolov V. V. *Klimaticheskyy monitoring Kirovskoy oblasti*. [Climate monitoring of the Kirov region]. Kazan, 2012. 263 p.

18. Sukhoveeva O. E. *Analiz vliyaniya agroklimaticheskikh faktorov na urozhaynost' ozimoy rzhii v Tsentral'nom Nechernozem'e*. [Analyzing the impact of agrometeorological factors on winter rye yield in central non-black soil area]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2014;(11):74-82. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22476069>
19. Batalova G. A. *Oves v Volgo-Vyatskom regione*. [Oat in Volga-Vyatka region]. Kirov: OOO «Orma», 2013. 288 p.
20. Lone B. A., Qayoom S., Singh P., Dar Z. A., Kumar S., Dar N. A., Fayaz A., Ahmad N., Lyaket, Bhat M. I., Singh G. Climate change and its impact on crop productivity. *British journal of applied science & technology*. 2017;21(5):1-15. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2017/34148>
21. Kukal M. S., Irmak S. Climate-driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. Great Plains agricultural production. *Scientific reports*. 2018;(8):3450. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21848-2>
22. Sukhoveeva O. E. *Vliyanie sovremennykh izmeneniy klimata na produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Nechernozem'e*. [The impact of modern climate changes on the productivity of agricultural crops in the Non-Chernozem region]. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources. 2014;(2):71-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21532917>
23. Sokolov A. V. *Agrokimiya fosfora*. [Phosphorus agrochemistry]. Moscow: izd-vo Akademii nauk SSSR, 1950. 152 p.

Сведения об авторах

✉ **Лыскова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>, e-mail: fss.nauka@mail.ru

Суховеева Ольга Эдуардовна, кандидат геогр. наук, научный сотрудник, ФГБУН Институт географии Российской академии наук, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, Москва, Российская Федерация, 119017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3620-9661>

Лыскова Татьяна Владимировна, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

Information about the authors

Irina V. Lyskova ✉, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>, e-mail: fss.nauka@mail.ru

Olga E. Sukhoveeva, PhD in Geography, researcher, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi str., 29-4, Moscow, Russian Federation, 119017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3620-9661>

Tatiana V. Lyskova, associate researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок

© 2021. Ф. А. Попов , Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Результаты исследований получены в 2019-2020 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях центральной зоны Евро-Северо-Востока РФ. Изучали 18 вариантов возрастающих доз минеральных удобрений в диапазоне от 30 до 150 кг действующего вещества на гектар. В условиях вегетационного периода 2019 г. на величину урожая ячменя сорта Новичок в большей степени влияли азотные удобрения ($Y = 0,67 - 0,11x^2 + 1,33x$, $R^2 = 0,92$), в 2020 г. – фосфорные ($Y = 1,48 - 0,02x^2 + 0,48x$, $R^2 = 0,99$). В среднем за 2 года исследований урожайность в контрольном варианте без применения удобрений составила 0,87 т/га. Прибавки урожайности зерна ячменя от применения возрастающих доз удобрений варьировали от 1,38 до 3,90 т/га. Окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений прибавкой урожая ячменя снижалась при увеличении доз: с 15,3 ($N_{30}P_{30}K_{30}$) до 8,3 кг ($N_{150}P_{150}K_{150}$). В среднем за два года исследований возрастающие дозы и соотношения минеральных удобрений не оказали существенного влияния на технологические свойства зерна ярового ячменя. Содержание сырого протеина в зерне с увеличением доз удобрений возрастало ($r = 0,55$), для получения зерна 2 класса качества необходимо вносить не менее 90 кг д. в./га аммиачной селитры. По содержанию сырой клетчатки получен 1 класс качества зерна, данный показатель не зависел от применения удобрений. Высокая рентабельность возделывания ярового ячменя сорта Новичок (от 54,2 до 59,1 %) отмечена при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}$, N_{120} , $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Ключевые слова: возрастающие дозы, прибавка урожая, окупаемость, экономическая эффективность, технологические показатели качества, физико-химические показатели качества

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема №0528-2019-0100).

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Попов Ф. А., Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):254-263. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263>

Поступила: 03.02.2021

Принята к публикации: 21.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety

© 2021. Fyodor A. Popov , Lyudmila M. Kozlova, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova

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

The results of the research were obtained in 2019-2020 on sod-podzolic middle-loam soil in the conditions of Euro-North-East of the Russian Federation. There were studied 18 variants of increasing doses of mineral fertilizers in the range from 30 to 150 kg of active ingredient per hectare. Under the conditions of 2019 growing season, nitrogen fertilizers influenced the value of yield of Novichok barley variety to a greater extent ($Y = 0.67 - 0.11x^2 + 1.33x$, $R^2 = 0.92$), in 2020 - phosphorus fertilizers ($Y = 1.48 - 0.02x^2 + 0.48x$, $R^2 = 0.99$). On average, over 2 years of research, the yield in the control variant without the use of fertilizers was 0.87 t/ha. Yield increase of barley grains because of enlarged fertilizer doses ranged from 1.38 to 3.90 t/ha. The payback of 1 kg of active ingredient of fertilizers with increase of barley yield decreased due to enlarged doses: from 15.3 ($N_{30}P_{30}K_{30}$) to 8.3 kg ($N_{150}P_{150}K_{150}$). On average for two years of the research the increasing doses and ratios of mineral fertilizers had no significant effect on technological properties of spring barley seeds. The content of crude protein in grain grew with increase in fertilizer doses ($r = 0.55$). To obtain grain of the 2nd class of quality it is necessary to apply not less than 90 kg of active ingredient/hectare of ammonium nitrate. According to the content of crude cellulose, the 1st class of grain quality has been obtained, and this indicator did not depend on the application of fertilizers. High profitability of cultivation of the Novichok spring barley variety (from 54.2 to 59.1 %) has been recorded by application of mineral fertilizers in doses $N_{60}P_{60}$, N_{120} , $N_{60}P_{60}K_{60}$ and $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Keywords: increasing doses, yield increase, payback, economic efficiency, technological quality indicators, physical-and-chemical quality indicators

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0100).

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: Popov F. A., Kozlova L. M., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):254-263. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263>

Received: 03.02.2021

Accepted for publication: 21.03.2021

Published online: 19.04.2021

Минеральное питание растений имеет принципиальное значение в оценке и управлении параметрами эффективного плодородия, функционирования и устойчивого развития агроценозов. Высокая и стабильная продуктивность подзолистых почв, характеризующихся низким естественным плодородием, в условиях короткого вегетационного периода и дефицита тепла возможна при систематическом научно обоснованном применении агрохимических средств [1]. Среди факторов, повышающих эффективность зернового комплекса, на долю известковых, минеральных и органических удобрений приходится 65-75 % [2]. Значение удобрений в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур, приумножении и сохранении плодородия почвы доказано многочисленными опытами и подтверждено практикой мирового земледелия. Кроме того, научно обоснованное применение удобрений позволяет управлять качеством сельскохозяйственной продукции и предотвращает загрязнение окружающей среды. При этом особенно велика их роль на дерново-подзолистых почвах, имеющих невысокий природный потенциал [3, 4, 5]. Полностью отказаться от использования минеральных удобрений нельзя даже на высокоплодородных почвах, длительное время получавших достаточное их количество. На бедных питательными элементами почвах при отрицательном их балансе в системе почва-растение ограничение применения всех видов удобрений приводит к резкому снижению продуктивности пашни¹.

В Волго-Вятском регионе яровой ячмень относят к проверенной, высоконадёжной культуре, которая максимально использует свой биологический потенциал для формирования устойчивых урожаев. Главное направление использования ярового ячменя в регионе –

зернофуражное [6]. В 2017-2018 гг. мировые посевные площади ячменя составили 48,1 млн га, а в Российской Федерации – 7,85 млн га². Урожайность и качество зерна ярового ячменя во многом зависят от минерального питания растений, агрохимических свойств почвы, сортовых особенностей и других факторов [7]. Управление минеральным питанием ячменя – один из основных факторов повышения его урожайности [8, 9, 10].

Для обеспечения продовольственной безопасности и независимости РФ, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижения технологических рисков в агропромышленном комплексе актуальной является разработка высокоэффективных, экологически безопасных систем интегрированного применения агрохимических средств в агротехнологиях различной интенсификации.

Научная новизна проводимых исследований заключается в том, что впервые установлены закономерности влияния различных доз, видов и соотношений минеральных удобрений на величину и качество урожая ярового ячменя сорта Новичок в условиях Кировской области.

Цель исследований – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя сорта Новичок и выявить экономически эффективные дозы.

Материал и методы. Полевой стационарный опыт по изучению различных видов, доз и соотношений минеральных удобрений заложен более 48 лет назад, в 1972 г. (вторая закладка – в 1973 г., третья – в 1974 г.) на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-20 см) при закладке опыта: рН_{KCl} 4,80,

¹Региональная система земледелия Смоленской области. Смоленск: Агронаучсервис, 2013. 277 с.

²World agricultural production. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Circular Series, 2021. 40 p. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

гумус – 1,50 % (по Тюрину), подвижный фосфор – 46 мг/кг, обменный калий – 160 мг/кг почвы (по Кирсанову). В настоящее время идет восьмая ротация шестипольного севооборота с типичным для Кировской области чередованием сельскохозяйственных культур: озимая рожь по чистому пару; яровой ячмень с подсевом клевера лугового; клевер луговой 1 г. п.; яровая пшеница по пласту многолетних трав; яровой овес – по обороту пласта.

Возделываемый в опыте сорт ярового ячменя Новичок включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2002 г. Главное достоинство сорта – толерантность к кислым дерново-подзолистым почвам. На почвах, подверженных эдафическому стрессу, средняя урожайность сорта составляла 5,6 т/га. Сорт среднеспелый, зернофуражного использования. Зерно средней крупности. Масса 1000 зерен достигает 45 г. Устойчивость к полеганию хорошая, однако при высоких дозах азота сорт склонен к полеганию. Сорт практически устойчив к черной и твердой головне, средневосприимчив к корневым гнилям.

Органические удобрения в опыте не применяли, известкование почвы не проводили. Минеральные удобрения во всех ротациях севооборота вносили под озимую рожь и яровые зерновые культуры перед посевом, весенние и летние подкормки не применяли.

Почвенные пробы для агрохимического анализа отбирали в начале 8-й ротации севооборота в чистом пару до посева озимой ржи (2017-2018 гг.) с определением следующих показателей: обменная кислотность потенциметрически (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина (ГОСТ 26213-91), содержание подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91).

Схема факториального опыта включает 54 варианта, повторность двукратная. Площадь варианта 140 м², учетная площадь – 58,8 м². В данной статье использованы результаты исследований по 18 вариантам опыта с применением различных соотношений аммиачной селитры, двойного гранулированного суперфосфата и хлористого калия. Внесение минеральных удобрений осуществляется поделочно вручную, непосредственно перед предпосевной культивацией. Уборка урожая

выполнена в фазу полной спелости ячменя путем прямого комбайнирования Sampo 500. Анализ технологических качеств зерна ячменя проводили по общепринятой в агрохимических исследованиях методике³. Анализ физико-химических свойств зерна ячменя выполняли на приборе INFRAMATIC. Экономическую эффективность применения минеральных удобрений рассчитывали по типовым технологическим картам согласно методическим указаниям⁴. Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализы данных выполнены с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2007.

Метеоусловия вегетационных периодов сильно различались по годам исследований, особенно в критические моменты развития растений ячменя. В период посева и формирования всходов ячменя в мае 2019 г. выпало всего 68 % от нормы осадков, тогда как в мае 2020 г. этот показатель составил 165 %. При этом сумма активных температур на конец мая 2019 г. была равна 292 °С, а в мае 2020 г. – несколько ниже, 227 °С. Всё это способствовало более раннему и дружному появлению всходов и развитию посевов ячменя во второй год исследований. В целом к моменту уборки ячменя в августе 2019 г. сумма активных температур достигла 1220 °С, сумма осадков – 252 мм. В аналогичный период 2020 г. сумма активных температур составила 1328 °С, сумма осадков – 290 мм. Таким образом, сложившиеся метеоусловия позволили в 2020 г. получить большую урожайность зерна ячменя по сравнению с 2019 г.

Результаты и их обсуждение. В длительном полевом опыте в течение семи ротаций шестипольного зернопарового севооборота вносили возрастающие дозы минеральных удобрений под зерновые культуры. Агрохимические свойства пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы после 43 лет ведения опыта представлены в таблице 1.

В исследованиях Н. Е. Завьяловой с соавторами [3] на дерново-подзолистых почвах содержание гумуса в варианте без применения удобрений снизилось за 40 лет на 13 % от исходного значения. В наших исследованиях за 43 года снижение составило 24 относительных процента: с 1,50 до 1,14 %. В варианте с малой дозой удобрения (30 кг д. в./га)

³Оценка качества зерна: справочник. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.

⁴Методические указания по расчету экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов НИР для условий Северо-Востока европейской части РФ. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. 65 с.

содержание гумуса уменьшилось на 0,17 %, со средними и повышенными дозами (60-120 д.в. /га) – на 0,05-0,09 абс. %. Только внесение макси-

мальной дозы удобрений (150 кг д. в./га) обеспечило сохранение содержания гумуса в почве на исходном уровне.

Таблица 1 – Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в основных вариантах длительного стационарного опыта (среднее за 2017-2018 гг.) /

Table 1 – Agrochemical properties of sod-podzolic soil in the main variants of long-term stationary experiment (average for 2017-2018)

Доза удобрений / Fertilizer dose	pH_{KCl}	Гумус, % / Humus, %	P_2O_5	K_2O
			мг/кг / mg/kg	
$N_0P_0K_0$ – контроль / $N_0P_0K_0$ – control	4,8	1,14	60	176
$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,7	1,33	84	205
$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,7	1,41	122	213
$N_{90}P_{90}K_{90}$	4,6	1,43	147	230
$N_{120}P_{120}K_{120}$	4,5	1,45	197	242
$N_{150}P_{150}K_{150}$	4,5	1,54	205	249
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,2	0,17	10	25

С увеличением доз минеральных удобрений до 90-150 кг д. в./га наблюдалось существенное возрастание кислотности пахотного слоя дерново-подзолистой почвы на 0,2-0,3 единицы pH_{KCl} относительно контрольного варианта.

Во всех вариантах с внесением доз NPK отмечено достоверное увеличение содержания подвижного фосфора относительно контроля на 23-145 мг/кг, обменного калия – на 29-73 мг/кг.

Внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на урожайность ярового ячменя сорта Новичок. В 2019 г. на величину урожая ячменя в большей степени влияли азотные удобрения ($Y = 0,67 - 0,11x^2 + 1,33x$, $R^2 = 0,92$) на фоне фосфорно-калийных и фосфорные ($Y = 1,31 - 0,09x^2 + 1,05x$, $R^2 = 0,83$) на фоне азотно-калийных удобрений. В 2020 г. в большей степени влияли фосфорные удобрения ($Y = 1,48 - 0,02x^2 + 0,48x$, $R^2 = 0,99$) на фоне азотно-калийных и калийные ($Y = 2,27 - 0,01x^2 + 0,23x$, $R^2 = 0,93$) на фоне азотно-фосфорных удобрений, а влияние азотных удобрений на фоне применения фосфорно-калийных снизилось ($Y = 2,42 - 0,02x^2 + 0,22x$, $R^2 = 0,63$).

Урожайность ячменя в 2019 г. в контрольном варианте составила всего 0,28 т/га (табл. 2). Это связано с тем, что в начале вегетации ячменя наблюдалась недостаточная

влагообеспеченность его посевов. После выпадения необходимого количества осадков питательные элементы стали доступны растениям в вариантах опыта с внесением удобрений, чего в контрольном варианте, где удобрения не применялись, не произошло. Самую высокую урожайность обеспечила доза $N_{150}P_{150}K_{150} - 5,22$ т/га. Применение только калийных удобрений, пусть и в возрастающих дозах, не приводило к увеличению урожайности ячменя. Внесение двойных сочетаний удобрений выстраивалось в следующую цепочку по снижению их эффективности: азотно-фосфорные, азотно-калийные, фосфорно-калийные. Данную тенденцию наблюдали и при увеличении доз удобрений.

Самую большую прибавку урожайности зерна ячменя обеспечила доза минеральных удобрений $N_{150}P_{150}K_{150} - 4,94$ т/га при достаточно низкой окупаемости 1 кг д. в. (11 кг зерна). Максимальная окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений прибавкой зерна составила 36 кг при внесении аммиачной селитры в дозе N_{60} . Примерно равная окупаемость 1 кг д. в. наблюдалась при применении аммиачной селитры с двойным суперфосфатом в дозе $N_{60}P_{60}$ (26,7 кг) и при внесении всех видов удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ (25,1 кг зерна ячменя). Самая низкая окупаемость зерном получена при внесении хлористого калия в дозе K_{60} (4,2 кг).

Таблица 2 – Урожайность ярового ячменя сорта Новичок и окупаемость минеральных удобрений зерном /
Table 2 – Yield of spring barley of the Novichok variety and payback of mineral fertilizers with grain

Доза удобрений / Fertilizer dose	2019 г.			2020 г.			Среднее за 2 года / Average for 2 years		
	У*	П**	О***	У	П	О	У	П	О
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	0,28	-	-	1,46	-	-	0,87	-	-
N ₆₀	2,44	2,16	36,0	2,20	0,74	12,3	2,32	1,45	24,2
P ₆₀	1,35	1,07	17,8	1,81	0,35	5,8	1,58	0,71	11,8
K ₆₀	0,82	0,54	9,0	1,59	0,13	2,2	1,21	0,34	5,6
N ₆₀ P ₆₀	3,48	3,20	26,7	2,70	1,24	10,3	3,09	2,22	18,5
N ₆₀ K ₆₀	2,28	2,00	16,7	2,60	1,14	9,5	2,44	1,57	13,1
P ₆₀ K ₆₀	2,12	1,84	15,3	1,70	0,24	2,0	1,91	1,04	8,7
N ₁₂₀	2,76	2,48	20,7	3,12	1,66	13,8	2,94	2,07	17,3
P ₁₂₀	2,41	2,13	17,8	2,03	0,57	4,8	2,22	1,35	11,3
K ₁₂₀	0,78	0,50	4,2	1,62	0,16	1,3	1,20	0,33	2,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀	3,78	3,50	14,6	3,40	1,94	8,1	3,59	2,72	11,3
N ₁₂₀ K ₁₂₀	3,22	2,94	12,3	3,19	1,73	7,2	3,21	2,34	9,7
P ₁₂₀ K ₁₂₀	2,7	2,42	10,1	2,67	1,21	5,0	2,69	1,82	7,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,54	2,26	25,1	1,95	0,49	5,4	2,25	1,38	15,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,07	3,79	21,1	2,75	1,29	7,2	3,41	2,54	14,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,43	4,15	15,4	3,17	1,71	6,3	3,80	2,93	10,9
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,98	4,70	13,1	4,55	3,09	8,6	4,77	3,90	10,8
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	5,22	4,94	11,0	3,98	2,52	5,6	4,60	3,73	8,3
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,62	0,62	-	0,74	0,74	-	-	-	-

* У – урожайность, т/га, **П – прибавка урожайности, т/га, ***О – окупаемость 1 кг д. в. удобрений прибавкой урожая, кг / * У – yield, t/ha, П - yield increase, t/ha, О - payback of 1 kg a.i. of fertilizers by yield increase, kg

В 2020 г. урожайность ячменя без применения удобрений составила 1,46 т/га, при внесении удобрений в дозе N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ она была наибольшей – 4,55 т/га. Как и в предыдущий год исследований, наименьшую прибавку урожайности зерна ячменя получили при внесении хлористого калия (K₆₀₋₉₀) и двойного суперфосфата с хлористым калием (P₆₀K₆₀): 0,13-0,16 и 0,24 т/га соответственно. Окупаемость основной продукцией 1 кг д. в. удобрений оказалась самой высокой при внесении одной аммиачной селитры в дозах N₆₀ и N₁₂₀ – 12,3 и 13,8 кг зерна.

В среднем за два года урожайность ячменя в контрольном варианте составила 0,87 т/га, наибольшая прибавка урожайности зерна получена при внесении максимальных доз NPK по 120 и 150 кг д. в./га – 3,90 и 3,73 т/га с окупаемостью 1 кг. д. в. 10,8-8,3 кг зерна. Окупа-

емость основной продукцией минеральных удобрений была самой высокой при внесении аммиачной селитры в дозе N₆₀ – 24,2 кг зерна.

Согласно ГОСТ 28672-2019⁵, натура зерна ячменя 1 класса должна быть не менее 630 г/л, 2 класса – не менее 570 г/л, для 3 класса без ограничений. В наших исследованиях в 2019 г. натура зерна ячменя сорта Новичок соответствовала 1 классу качества и находилась в пределах 646-665 г/л и не имела достоверных различий по вариантам. В 2020 г. этот показатель был несколько выше и находился в пределах 664-678 г/л, что так же соответствует 1 классу качества, без существенных различий по изучаемым вариантам.

Согласно Е. Д. Казакову⁶, зерно ячменя с большей массой 1000 зерен имеет лучшие технологические свойства, и, как следствие, больший выход готовой продукции – крупы.

⁵ГОСТ 28672-2019. Ячмень. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2019. 12 с. URL: https://allgosts.ru/67/060/gost_28672-2019

⁶Казаков Е. Д. Методы оценки качества зерна. М.: Агропромиздат, 1987. 215 с.

В исследованиях И. Н. Щенниковой [11] сорт ярового ячменя Новичок имел массу 1000 зерен, равную 45,3 г. По данным А. Mutlu [12], применение удобрений увеличивало урожайность ячменя, высоту растений и массу 1000 семян в 50-56 % случаев. В наших исследованиях в 2019 г. получена масса 1000 зерен в интервале 47,2-49,8 г без существенных различий по вариантам внесения минеральных удобрений, в 2020 г. этот показатель варьировал от 44,3 до 46,3 г.

Таким образом, в среднем за 2 года исследований возрастающие дозы и соотношения минеральных удобрений не оказали существенного влияния на технологические свойства зерна ярового ячменя. При проведении корреляционного анализа полученных данных установлено, что с возрастанием доз минеральных удобрений натурный вес зерна ячменя снижался ($r = -0,46$, $p = 0,05$), а масса

1000 зерен возрастала ($r = 0,47$). Между массой 1000 зерен и натурой зерна ячменя установлена слабая отрицательная связь ($r = -0,28$).

Согласно ГОСТ Р53900-2010⁷, зерно ячменя, предназначенное для фуражного использования, делится на три класса качества по содержанию сырого протеина и сырой клетчатки. Фуражное зерно ячменя первого класса должно содержать в пересчете на 1 кг более 130 г сырого протеина и менее 70 г сырой клетчатки, второго класса – соответственно 120-130 г и 70-90 г, третьего класса – менее 120 г сырого протеина и более 90 г клетчатки.

В 2019 г. в вариантах с внесением N_{60} , N_{120} , $N_{120}P_{120}$, $N_{120}K_{120}$ и возрастающих доз НРК получено зерно ячменя 2 класса с содержанием сырого протеина от 120,3 до 129,3 г/кг (табл. 3). В остальных вариантах содержание протеина существенно ниже – 99,4-119,5 г/кг зерна, что соответствовало 3 классу качества.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества зерна ярового ячменя сорта Новичок, г/кг /
Table 3 – Physical-and-chemical quality indicators of spring barley of the Novichok variety grain, g/kg

Доза удобрений / Fertilizer dose	Сырой протеин / Crude protein			Сырая клетчатка / Crude fiber		
	2019 г.	2020 г.	среднее / average	2019 г.	2020 г.	среднее / average
$N_0P_0K_0$ – контроль / $N_0P_0K_0$ – control	105,2	118,3	111,8	37,2	26,1	31,7
N_{60}	123,3	113,4	118,4	38,2	27,1	32,7
P_{60}	119,5	113,2	116,4	34,1	27,1	30,6
K_{60}	101,2	115,8	108,5	36,3	32,0	34,2
$N_{60}P_{60}$	104,0	108,4	106,2	39,0	30,2	34,6
$N_{60}K_{60}$	105,6	117,7	111,7	36,8	34,3	35,6
$P_{60}K_{60}$	104,3	101,9	103,1	36,9	32,9	34,9
N_{120}	120,3	119,6	120,0	36,7	35,7	36,2
P_{120}	119,1	111,4	115,3	35,9	31,1	33,5
K_{120}	99,4	112,9	106,2	38,1	30,9	34,5
$N_{120}P_{120}$	129,3	119,4	124,4	31,7	30,0	30,9
$N_{120}K_{120}$	124,9	117,3	121,1	35,3	35,9	35,6
$P_{120}K_{120}$	116,6	118,8	117,7	35,3	30,6	33,0
$N_{30}P_{30}K_{30}$	123,9	113,8	118,9	38,2	35,5	36,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$	120,7	111,4	116,1	39,4	31,9	35,7
$N_{90}P_{90}K_{90}$	128,4	118,4	123,4	36,9	32,0	34,5
$N_{120}P_{120}K_{120}$	129,5	119,8	124,7	35,5	33,6	34,6
$N_{150}P_{150}K_{150}$	123,9	114,6	119,3	34,9	29,0	32,0
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	11,2	$F_{\phi} < F_T$	-	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	-

⁷ГОСТ Р53900-2010. Ячмень кормовой. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 1 с. URL: <http://www.gostedu.ru/50191.html>

В 2020 г. во всех изучаемых вариантах содержание сырого протеина соответствовало 3 классу качества зерна и не превышало 120 г/кг.

В среднем за 2 года исследований только варианты N₁₂₀, N₁₂₀P₁₂₀, N₁₂₀K₁₂₀, N₉₀P₉₀K₉₀, N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ обеспечили содержание сырого протеина, соответствующее 2 классу качества. Установлена средняя положительная связь роста этого показателя с увеличением доз минеральных удобрений ($r = 0,55$).

По содержанию сырой клетчатки в оба года исследований получено зерно 1 класса. В 2019 г. содержание сырой клетчатки варьировало от 34,9 до 39,4 г/кг зерна и от 26,1 до 35,9 г/кг в 2020 г., без существенных различий по изучаемым вариантам. В среднем за 2 года этот показатель находился в пределах

30,6-36,9 г/кг зерна. Корреляционной связи содержания сырой клетчатки и возрастающих доз минеральных удобрений не установлено.

Экономическую эффективность возделывания ярового ячменя определяли по типовым технологическим картам. Цена за 1 тонну минеральных удобрений на декабрь 2020 г. составляла: аммиачная селитра 15 тыс. руб., двойной гранулированный суперфосфат 23 тыс. руб., хлористый калий 20,1 тыс. руб.

При цене реализации 1 т фуражного зерна ячменя 10 тыс. руб. стоимость основной продукции в контрольном варианте составила всего 8700 руб/га (табл. 4). Внесение NPK по 120 и 150 кг д. в. повысило стоимость основной продукции до 46000-47650 руб/га.

Таблица 4 – Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя сорта Новичок /
Table 4 – Economic efficiency of spring barley of the Novichok variety cultivation

<i>Доза удобрений / Fertilizer dose</i>	<i>Стоимость про- дукции, руб/га / Production cost, rub/ha</i>	<i>Затраты, руб/га / Costs, rub/ha</i>	<i>Прибыль, руб/га / Profit, rub/ha</i>	<i>Себестоимость, руб/т / Prime cost, rub/t</i>	<i>Рентабель- ность, % / Profitability, %</i>
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	8700	13003	-4303	14946	-33,1
N ₆₀	23200	16087	7113	6934	44,2
P ₆₀	15800	16330	-530	10335	-3,2
K ₆₀	12050	15220	-3170	12631	-20,8
N ₆₀ P ₆₀	30900	19422	11478	6285	59,1
N ₆₀ K ₆₀	24400	18277	6123	7491	33,5
P ₆₀ K ₆₀	19100	18548	552	9711	3,0
N ₁₂₀	29400	19061	10339	6483	54,2
P ₁₂₀	22200	19648	2552	8850	13,0
K ₁₂₀	12000	17396	-5396	14497	-31,0
N ₁₂₀ P ₁₂₀	35900	25614	10286	7135	40,2
N ₁₂₀ K ₁₂₀	32050	23446	8604	7315	36,7
P ₁₂₀ K ₁₂₀	26850	24059	2791	8961	11,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	22450	17335	5115	7722	29,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	34100	21639	12461	6346	57,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	38000	25841	12159	6800	47,1
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	47650	30119	17531	6321	58,2
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	46000	34247	11753	7445	34,3

Производственные затраты в пересчете на 1 га с увеличением доз вносимых удобрений возрастали. В случае использования одного вида минерального удобрения затраты были наименьшими при внесении

K₆₀ (15220 руб.) и K₁₂₀ (17396 руб.). При внесении двух видов минеральных удобрений снижение производственных затрат обеспечили азотно-калийные в дозах N₆₀K₆₀ (18277 руб.) и N₁₂₀K₁₂₀ (23446 руб.).

В вариантах с тройным сочетанием удобрений минимальная доза $N_{30}P_{30}K_{30}$ обеспечила наименьшие производственные затраты (17335 тыс. руб.), с увеличением дозы этот показатель возрастал до 34247 тыс. руб.

Совсем не получили условный чистый доход (прибыль) в контрольном варианте, при внесении 60 кг д. в./га двойного суперфосфата, 60 и 120 кг д. в./га хлористого калия. Незначительный условный чистый доход отмечен при внесении фосфорно-калийных удобрений в дозе $P_{60}K_{60}$ – 552 руб./га. Наибольший условный чистый доход получен при внесении азотно-фосфорно-калийных удобрений из расчета 120 кг д. в./га – 17531 тыс. руб.

Себестоимость 1 т основной продукции напрямую зависела от полученной урожайности зерна ячменя. Низкая урожайность в контрольном варианте без применения удобрений и при внесении хлористого калия в дозах K_{60} и K_{120} способствовала увеличению себестоимости до 12631-14946 тыс. руб./т. Себестоимость 1 т зерна ячменя ниже 6,5 тыс. руб. получена при внесении $N_{60}P_{60}$, N_{120} , $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Нерентабельно выращивать ячмень без применения минеральных удобрений, а также при внесении только 60 кг д. в./га двойного суперфосфата или 60-120 кг д. в./га хлористого калия. Высокую рентабельность показало внесение азотно-фосфорных удобрений $N_{60}P_{60}$ (59,1 %), аммиачной селитры N_{120} (54,2 %), азотно-фосфорно-калийных в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ (57,6 %) и $N_{120}P_{120}K_{120}$ (58,2 %). По результатам исследований можно рекомендовать сельхозтоваропроизводителям, которые применяют только азотные удобрения, при возделывании ячменя вносить аммиачную селитру в дозе N_{120} . При применении азотно-фосфорных удобрений можно вносить аммиачную селитру и двойной суперфосфат в дозе $N_{60}P_{60}$. Использование азотно-фосфорно-калийных удобре-

ний под ячмень рекомендуется в оптимальной по действующему веществу дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Выводы. Применение в течение 43 лет возрастающих доз NPK (по 30...150 кг д. в./га) существенно увеличило в пахотном слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы содержание подвижного фосфора (на 40-242 %), обменного калия (на 16-41 %) и гумуса (на 0,19-0,40 абс. %) относительно варианта без удобрений. Отмечено подкисление почвы при внесении NPK в дозах по 90-150 кг д. в./га.

Урожайность ячменя в среднем за 2019-2020 гг. в контрольном варианте составила 0,87 т/га, наибольшая прибавка урожайности зерна получена при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 3,90 т/га, самая высокая окупаемость зерном 1 кг действующего вещества минеральных удобрений получена при внесении N_{60} – 24,2 кг.

В среднем за два года исследований возрастающие дозы и соотношения минеральных удобрений не оказали существенного влияния на технологические свойства зерна ярового ячменя.

Содержание сырого протеина в зерне ячменя с увеличением доз минеральных удобрений возрастало ($r = 0,55$), однако для достижения 2 класса качества по этому показателю необходимо внесение не менее 90 кг д. в./га аммиачной селитры. По содержанию сырой клетчатки получено зерно 1 класса качества, данный показатель не зависел от применения удобрений.

Высокую рентабельность показало внесение азотно-фосфорных удобрений $N_{60}P_{60}$ (59,1 %), азотного удобрения N_{120} (54,2 %), азотно-фосфорно-калийных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ (57,6 и 58,2 %). Для производства зерна ячменя сорта Новичок рекомендуется внесение 120 кг д. в./га аммиачной селитры или 60 кг д. в./га аммиачной селитры с 60 кг д. в./га двойного суперфосфата, или сложных азотно-фосфорно-калийных удобрений в дозах, эквивалентных 60, 120 кг д. в./га по каждому элементу питания.

Список литературы

1. Елькина Г. Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 278 с.
2. Гаврилова А. Ю., Конова А. М., Понкратенкова И. В., Мёрзлая Г. Е., Самойлов Л. Н. Эффективное использование органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Смоленской области. Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 гг.: мат.-лы Всеросс. координационного совещ. научных учреждений-участников Геосети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА; 2018. С. 63-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35672851>
3. Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г., Иванова О. В. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна озимой ржи в условиях Предуралья. Плодородие. 2020;(2(113)):23-26. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.07>

4. Алиев А. М., Самойлов Л. Н., Цимбалист Н. И. Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги лет исследований в длительном полевом опыте). *Агрохимия*. 2016;(2):20-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26019034>
5. Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Влияние длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;(11-5(53)):27-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27379575>
6. Жилин Н. А., Щенникова И. Н. Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020;60(1):79-82. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42652494>
7. Кирпичников Н. А., Бижан С. П. Влияние фосфорных и цинковых удобрений на урожай и качество зерна ярового ячменя в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы. *Плодородие*. 2020;(5(116)):36-38. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.116.10>
8. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*). *The Journal of Agricultural Science*. 1986;107(1):187-213. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600066946>
9. Procházková B., Málek J., Dovrtěl J. Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barley. *Plant Soil Environ*. 2002;48:27-32. DOI: <https://doi.org/10.17221/4204-PSE>
10. Ruchkina A., Ushakov R., Golovina N., Aseev V., Bobrakov F. Prospects for the development and use of a clay-nitrogen mixture as a fertilizer. *E3S Web of Conferences*. 2020;222:02043. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202043>
11. Щенникова И. Н. Методы и результаты селекции ячменя на устойчивость к кислым почвам. Создание сортов овса и ячменя для кислых почв. Теория и практика. Saarbrücken: LAP, 2012. С. 307-333. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36939767>
12. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021;29(12):10840-10846. URL: https://www.prt-parlar.de/download_feb_2020/

References

1. El'kina G. Ya. *Optimizatsiya mineral'nogo pitaniya rasteniy na podzolistykh pochvakh*. [Optimization of mineral nutrition of plants on podzolic soils]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. 278 p.
2. Gavrilova A. Yu., Konova A. M., Ponkratenkova I. V., Merzlaya G. E., Samoylov L. N. *Effektivnoe ispol'zovanie organicheskikh i mineral'nykh udobreniy na dernovo-podzolistykh pochvakh Smolenskoy oblasti*. [Effective use of organic and mineral fertilizers on sod-podzolic soils of the Smolensk region]. *Itogi vypolneniya programmy fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy gosudarstvennykh akademiy na 2013-2020 gg.: mat-ly Vseross. koordinatsionnogo soveshch. nauchnykh uchrezhdeniy-uchastnikov Geoseti opytov s udobreniyami*. [Results of the implementation of the program of fundamental scientific research of state academies for 2013-2020: Proceedings of All-Russian coordination session of scientific institutions participating in the Geoset of Fertilizer Experiments]. Moscow: VNIIA, 2018. pp. 63-72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35672851>
3. Zav'yalova N. E., Shishkov D. G., Ivanova O. V. *Vliyanie mineral'nogo pitaniya na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy rzhii v usloviyakh Predural'ya*. [Influence of mineral nutrition on yield and quality of winter rye grain in preurals]. *Plodородие*. 2020;(2(113)):23-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.07>
4. Aliev A. M., Samoylov L. N., Tsimbalist N. I. *Effektivnost' kompleksnogo primeneniya sredstv khimizatsii v Nечерноземной зоне (itogi let issledovaniy v dlitel'nom polevom opyte)*. [The efficiency of complex application of chemicals in the Non-chernozem zone (the results of 55 years of research in long-term field experiment)]. *Agrokhimiya*. 2016;(2):20-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26019034>
5. Konova A. M., Gavrilova A. Yu. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobreniy na produktivnost' sevooborota*. [Influence of long application of increasing doses of fertilizers on efficiency of crop rotation]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2016;(11-5(53)):27-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27379575>
6. Zhilin N. A., Shchennikova I. N. *Metody i rezul'taty seleksii yachmenya v Volgo-Vyatskom regione*. [Barley breeding methods and results in the Volga-Vyatka region]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;60(1):79-82. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42652494>
7. Kirpichnikov N. A., Bizhan S. P. *Vliyanie fosfornykh i tsinkovykh udobreniy na urozhay i kachestvo zerna yarovogo yachmenya v zavisimosti ot izvestkovaniya dernovo-podzolistoy pochvy*. [Influence of phosphoric and zinc fertilizers on yields and grain quality of spring barley depending on the liming of sod-podzolic soil]. *Plodородие*. 2020;(5(116)):36-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.116.10>
8. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*). *The Journal of Agricultural Science*. 1986;107(1):187-213. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600066946>
9. Procházková B., Málek J., Dovrtěl J. Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barley. *Plant Soil Environ*. 2002;48:27-32. DOI: <https://doi.org/10.17221/4204-PSE>

10. Ruchkina A., Ushakov R., Golovina N., Aseev V. Bobrakov F. Prospects for the development and use of a clay-nitrogen mixture as a fertilizer. E3S Web of Conferences. 2020;222:02043.

DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202043>

11. Shchennikova I. N. *Metody i rezul'taty selektsii yachmenya na ustoychivost' k kislym pochvam*. [Methods and results of barley breeding for resistance to acidic soils]. *Sozdanie sortov ovsa i yachmenya dlya kislykh pochv. Teoriya i praktika*. [Breeding of varieties of oats and barley for acidic soils. Theory and practice]. Saarbrücken: LAP, 2012. pp. 307-333. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36939767>

12. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.). Fresenius Environmental Bulletin. 2021;29(12):10840-10846. URL: https://www.prt-parlar.de/download_feb_2020/

Сведения об авторах

✉ **Попов Фёдор Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Козлова Людмила Михайловна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166 а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>

Носкова Евгения Николаевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

Information about the authors

✉ **Fyodor A. Popov**, PhD in Agricultural science, senior researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Lyudmila M. Kozlova, DSc in Agricultural science, leading researcher, Head of the Department of Crop Farming, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>

Eugenia N. Noskova, PhD in Agricultural science, researcher, the Laboratory of Soil Management, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.264-277>

УДК 636.52/.58:57.032

Возрастные изменения в гистоструктуре костей конечностей домашних кур

© 2021. Н. С. Суханова✉

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Российская Федерация

Для оценки возможности применения костной ткани птиц в качестве регистрирующей структуры проведено измерение гистоморфологических показателей костной ткани кур кросса ломан браун из Кировской области (9 самок и 1 самец) возрастом от 1 месяца до 7,5 лет. Сравнение поперечных сечений плечевой и бедренной костей, фаланги пальца и тибiotарзуса у 6-летней особи выявило, что тибiotарзус наименее подвержен резорбции. Для дальнейших исследований у 7 особей эта кость была разделена на 3 участка (T1, T2 и T3), для каждого из которых проведено описание и измерение микроструктуры поперечных срезов. Выявлено, что процесс резорбции периоста начинается в 2,5 года с появления первичных остеонов. После 3,5 лет они проникают во все слои периоста, располагаясь цепочками между линий склеивания. В 4,5 года на их месте появляются вторичные остеоны, а на пересечении заверсовых и фолькмановских каналов образуются участки резорбции. В 5,5 лет исчезает медуллярная кость из полости кости, на месте участков резорбции появляются округлые пустоты, по краям заполняемые центростремительным отложением новой костной ткани. В 6-7-летнем возрасте происходит перерождение костной ткани, когда пустоты укрупняются и сливаются в большие резорбционные полости, вплоть до полной резорбции мезоста. На дистальном участке тибiotарзуса (T3) отмечена длительная аппозиция слоёв периоста и наиболее поздняя резорбция. С помощью морфометрии поперечных срезов середины диафиза выявлено увеличение толщины периоста и снижение плотности популяции остеонов. Определены участки тибiotарзуса, где возраст самок соответствует ростовым слоям периоста, а также выделены участки с дополнительными линиями склеивания. Сделан вывод о пригодности периостального слоя тибiotарзуса кур на дистальном и проксимальном участках в качестве регистрирующей структуры.

Ключевые слова: *Gallus gallus domesticus*, кросс ломан браун, определение возраста, микроструктура кости, большеберцовая кость, периост, линии склеивания, резорбционные полости, медуллярная кость

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (тема № 0766-2019-0001).

Автор благодарит фермеров села Красное Кировской области за помощь в сборе биоматериала, сотрудника МБУ «Кировский городской зоологический музей» В. Н. Сотникова за участие в обработке костей, сотрудников ФГБНУ «ВНИИОЗ имени профессора Б. М. Житкова» А. Е. Скопина и И. И. Окулову за ценные советы по исследованию гистологии костной ткани и обсуждению материалов статьи.

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Суханова Н. С. Возрастные изменения в гистоструктуре костей конечностей домашних кур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):264-277. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.264-277>

Поступила: 26.01.2021

Принята к публикации: 24.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Age-related changes of the histological structure in the limb bones of the domestic fowl

© 2021. Natalya S. Sukhanova✉

Professor B. M. Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russian Federation

To assess the possibility of using the bird bone tissue as a recording structure, the histomorphological parameters of the bone tissue of laying hens of the lohman brown cross from the Kirov region (9 females and 1 male) aged from 1 month to 7.5 years were investigated. The comparison of the cross-sections of the humerus and femur, the phalanx of the toe and tibiotarsus of a 6-year-old individual revealed that tibiotarsus is the least susceptible to resorption. For further research in 7 individuals, this bone was divided into 3 sections (T1, T2 and T3), for each of which the description and measurement of the microstructure of the cross sections was carried out. It was revealed that the process of resorption of the periosteum begins at 2.5 years of age with the appearance of primary osteons. At the age of 3.5 years and later they penetrate into all layers of the periosteum, locating in chains between the lines of arrested growth. At 4.5 years of age, secondary osteons appear in the place of the primary ones, and areas of resorption are formed at the intersection of the Haversian and Volkmann canals. At the age of 5.5 years the medullary bone disappears from the bone cavity, rounded cavities filled with centripetal deposition of new bone tissue at the edges

appear within the resorption sites. At the age of 6-7 years, bone tissue degeneration occurs, when the small cavities enlarge and merge into large resorption cavities, up to the complete resorption of the mesost. In the distal part of tibiotarsus (T3), a prolonged apposition of the layers of the periosteum and the latest resorption were recorded. The increase of the thickness of the periosteum and a decrease in the density of the osteon population was revealed by the morphometry of cross sections of the center of diaphysis. The sites of tibiotarsus where the age of females corresponds to the lines of growth layer of the periosteum were determined. The sites with additional lines of the arrested growth were demarcated. It was concluded that the periosteal layer of the domestic fowl tibiotarsus in the distal and proximal sites are suitable as a recording structure.

Keywords: *Gallus gallus domesticus*, crossbreed lohman brown, age determination, bone microstructure, tibiotarsus, periosteum (outer circumferential layer), lines of arrested growth (LAGs), resorption cavities, medullar bone

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 Professor B. M. Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (theme No. 0766-2019-0001).

The author thanks farmers of the Krasnoe village of the Kirov region for help in collecting biosamples, the researcher of the Kirov City Zoological Museum V. N. Sotnikov for participation in the preparation of bones, the researchers of the FSBSI «VNIIOZ named after Professor B. M. Zhitkov» A. E. Scopin and I. I. Okulova for valuable advice on the bone histology and careful discussion of the manuscript.

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: Sukhanova N. S. Age-related changes of the histological structure in the limb bones of the domestic fowl. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021; 22(2):264-277. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.264-277>

Received: 26.01.2021

Accepted for publication: 24.03.2021

Published online: 19.04.2021

В птицеводстве большое внимание уделяется изучению роста и развития кур яичных пород, что во многом определяет их продуктивность и выживаемость [1, 2]. Однако возрастные изменения гистологического строения скелетных элементов, даже у домашних птиц, до сих пор слабо исследованы и используются в основном при экспертизе сельскохозяйственной продукции [3]. Как правило, при промышленном разведении возрастные изменения оценивают в течение первого месяца [4], максимум до 1 года жизни¹ [5], так как современные породы и кроссы кур из-за направленной селекции на повышение продуктивности быстрее изнашиваются и к 2 годам уже стареют [6]. Однако ранее были указания, что продолжительность жизни кур может достигать 12 лет [7].

В настоящее время в орнитологии [8] и охотоведении² существует потребность в точном определении возраста птиц, так как стандартные методы обычно ограничиваются разделением выборки на молодых и взрослых [9].

Метод определения возраста по гистоструктурам костей был разработан на млекопитающих, земноводных и рептилиях, но к современным птицам широко не применялся из-за противоречивых результатов исследований [8]. Одни авторы сочли этот метод нена-

дежным [10, 11]. В других работах было продемонстрировано, что слои периостальной зоны кости диких птиц пригодны для определения возраста [12, 13]. В археозоологических исследованиях последних лет активно применяется интерпретация линий остановки роста в периостальном слое костей нижних конечностей как индикатор возраста у вымерших нелетающих птиц: моа [14], додо [15] и слоновьих птиц (*Aepyornithidae*) [16].

Цель исследований – с помощью гистоморфологических показателей костей конечностей домашних кур известного возраста оценить возможность применения костной ткани птиц в качестве регистрирующей структуры.

Материал и методы. Исследования проводили в Кировской области в 2012-2019 гг. Содержали птиц на частных подворьях Даровского района в условиях, приближенных к естественной среде (без дополнительного освещения и обогрева). В качестве модельного объекта выбрана домашняя курица (*Gallus gallus domesticus*) яичного направления кросса ломан браун. Этот четырёхлинейный кросс широко распространен в фермерских хозяйствах области. Выведенный в Германии и завезённый в Россию в 1989 г. он зарекомендовал себя высокими показателями сохранности поголовья и выхода яичной массы³.

¹Чеканова М. И. Сравнительная гистоархитектоника компактного вещества трубчатых костей конечностей домашних и некоторых диких птиц: автореф. дис. ...д-ра биол. наук. Киев, 1965. 24 с.

²Чашухин В. А. Возможности визуального определения пола и возраста охотничьих зверей и птиц. Киров: Первая Образцовая типография, 2016. 111 с.

³Кочиш И. И., Петраш М. Г., Смирнов С. Б. Птицеводство. М.: КолосС, 2004. 407 с.

Для анализа использован материал 10 птиц разного возраста (табл.). На первом этапе для сравнения процессов резорбции в разных костях конечностей выбрана особь в возрасте 6 лет (№ 6+). Изготавливали поперечные гистологические срезы средней части диафиза плечевой (*os humerus*), бедренной (*os femoris*) костей, тибіотарзуса (*tibiotarsus*), а также ди-

стальной фаланги 3 пальца (*phalanx digiti pedis proximalis*) нижних конечностей. Главная кость голени птиц имеет комплексный характер и, строго говоря, должна называться уже не большеберцовой костью, а тибіотарзусом⁴.

Гистология плечевой кости проведена в проксимальном эпифизе и среднем участке кости у 2 самок № 19-122 и 19-123.

Таблица – Данные о возрасте и физиологическом состоянии домашних кур кросса ломан браун /
Table – Data on the age and physiological state of domestic chickens cross lohman brown

№	Пол / Sex	Возраст / Age	Дата смерти / Date of death	Физиологическое состояние / Physiological condition
1 (0+)	♀	1 месяц / 1 month	-	Молодая птица / Young bird
2 (2+)	♀	2 года 8 месяцев / 2 years 8 months	07.2016	Взрослая птица в стадии яйцекладки. Летом 2016 г. насиживала кладку / Adult bird in the egg laying stage, in summer of 2016 incubate
3 (3+)	♀	3 года 10 месяцев / 3 years 10 months	10.2016	Взрослая птица после яйцекладки / Adult bird after laying
4 (4+)	♀	4 года 10 месяцев / 4 years 10 months	10.2016	Старая птица после яйцекладки / Old bird after laying
5 (5+)	♀	5 лет 10 месяцев / 5 years 10 months	10.2016	
6 (6+)	♀	6 лет 10 месяцев / 6 years 10 months	10.2016	
7 (7+)	♀	7 лет 8 месяцев / 7 years 8 months	08.2017	Старая птица. Репродуктивная система редуцирована / Old bird. The reproductive system is reduced
8 (18-023)	♂	2 года / 2 years	03.2018	Взрослая особь / An adult
9 (19-122)	♀	4 года 4 месяца / 4 years 4 months	11.2019	Старая птица после яйцекладки / Old bird after laying
10 (19-123)	♀	4 года 10 месяцев / 4 years 10 months	11.2019	Старая птица после яйцекладки. Летом 2016 г. насиживала дважды / Old bird after laying. In the summer of 2016, she incubated twice

На втором этапе отобрано 6 самок разного возраста и изготовлено 38 временных препаратов с поперечными срезами трёх

участков тибіотарзуса: из середины диафиза (T2), участков у проксимального (T1) и дистального (T3) эпифизов (рис. 1).

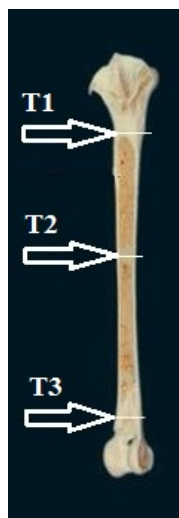


Рис. 1. Локализация мест гистологических срезов тибіотарзуса: T1 – проксимальный участок; T2 – середина диафиза; T3 – дистальный участок кости /

Fig. 1. Localization of the histological sections of tibiotarsus: T1 - proximal area; T2 - center of the diaphysis; T3 - distal bone site

⁴Дзержинский Ф. Я. Методические указания к проведению практических занятий по общему курсу зоологии позвоночных для студентов физиолого-биохимического отделения. М.: МГУ, 2000. 40 с.

Окрашенные срезы изготавливали с использованием стандартных гистологических методов, применявшихся ранее для млекопитающих⁵. Кости не подвергались термической или химической обработке, а были высушены и очищены от прирезей мяса и сухожилий пятнистыми кожеедами (*Dermestes maculatus* L.). Для размачивания костной ткани нами использован буферный раствор гидрокарбоната натрия (2 %), что способствовало равномерной декальцинации и сокращению времени экспозиции пробы в 7 %-ной азотной кислоте.

Процесс декальцинации при комнатной температуре составляет 12-48 часов с переносом костей через сутки в новый раствор кислоты. Окончание процесса декальцинации контролировали по степени эластичности образца. Образец промывали в течение 6 часов в проточной воде. Срезы декальцинированной кости выполняли на замораживающем микротоме модели Х МЗ-1 с установкой толщины среза 15-30 мкм. Декальцинированные срезы фиксировали формалином. Полученные срезы окрашивали гематоксилином Делафиляда и после промывки расправляли на предметном стекле, поместив в 1-2 капли глицерина. Через сутки глицерин равномерно распределялся по всему препарату и был готов для морфометрии. На микроскопе «GENAVAL» (окуляр $\times 10$, объективы $\times 4$ и $\times 10$) сделаны фотографии камерой «DIGITAL», а затем в среде программы «Vision Bio» на медиальной, латеральной, краниальной и каудальной стенках проведены измерения⁶.

Для анализа результатов использовали возрастные морфологические показатели строения кости, применявшиеся в медицинских исследованиях [17]. Ориентация среза, название скелетных элементов и описание гистологического строения кости указаны в соответствии с международной и русскоязычной номенклатурой^{7, 8} [18]. На гистологических препаратах костей анализировали: плотность популяции интактных остеонов (отношение количества остеонов, у которых 90 процентов и более периметра гаверсового канала не повреждены или не изменены, к площади пробы кости [17]), в $\text{ед}/\text{мм}^2$ без учёта медуллярных структур; относительную площадь корти-

кального слоя (отношение площади периоста к площади поперечного сечения кости, %); толщину кортикального слоя (среднее значение по 3 измерениям периоста на одном срезе); количество негаверсовых каналов (число каналов остеонов в периосте); относительную площадь резорбции кортикального слоя (отношение площади периоста с участками резорбции и пустотами к общей площади периоста, %) и относительную площадь медуллярной кости (отношение площади слабо-структурированного мелкоячеистого матрикса в медуллярной полости к площади поперечного среза кости, %). Вычисление этих показателей, а также коэффициентов корреляции и уравнения линии тренда проведены в среде приложения Microsoft Office Excel⁹. Вычисление средних значений толщины периоста, стандартной ошибки средней и доверительного интервала проведено в программе Statistica12.7¹⁰.

Результаты и их обсуждение. При определении возраста по числу ростовых слоёв рекомендовано выбирать кость и такие её участки, где имеет место длительная аппозиция нешироких слоёв костной ткани при малом темпе резорбции первых по времени образования слоёв¹¹.

В плечевой и бедренной костях, а также в дистальных фалангах пальцев к 6 годам в периосте образуется обширная резорбция. Линии остановки роста или линии склеивания в таком периосте исчезают. Плечевая кость и тибиотарзус – это самые крупные кости конечностей, поэтому резорбция в них не столь обширна. В плечевой кости видны и периостальные, и эндостальные слои из-за пневматизации, но слои плечевой кости неровные, линии склеивания сливаются и расходятся, поэтому сложно отличить основные линии склеивания от дополнительных. Тибиотарзус менее изогнут и скручен среди всех длинных костей конечностей, а периостальные слои в нём более ровные, что связано с механической нагрузкой на кость. Свойства длинных костей конечностей в итоге предопределили выбор тибиотарзуса для дальнейшего анализа гистологических структур у особей разного возраста.

⁵Клевезаль Г. А. Принципы и методы определения возраста млекопитающих. М.: Товарищество КМК, 2007. 283 с.

⁶Kerley E. R., Ubelaker D. H. Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. American Journal of Physical Anthropology. 1978;49(4):545-546.

⁷Yasuda M. The Anatomical Atlas of Gallus. Tokyo: University of Tokyo Press, 2002. 445 p.

⁸Сыч В. Ф. Морфология локомоторного аппарата птиц. Ульяновск: изд-во Средневолжского научного центра, 1999. 520 с.

⁹Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: изд-во ПетрГУ, 2011. 302 с.

¹⁰Электронный учебник по статистике. StatSoft; 2021. [Электронный ресурс]. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения 18.03.2021).

¹¹Клевезаль Г. А. Регистрирующие структуры млекопитающих в зоологических исследованиях. М.: Наука, 1988. 285 с.

Отличия в строении тибиятарзуса у молодых и взрослых птиц. У молодых кур до достижения ими половозрелого возраста происходит формирование кости, её активный рост и развитие. На поперечном срезе тибиятарзуса у молодняка (рис. 2а) диаметры каналов остеонов большие, нет слоёв генеральных пластинок, а эндост и периост ещё не дифференцированы. Фактически вся кость представляет собой растущий мезост. Наружная часть представлена пористой структурой, обеспечи-

вающей рост кости в толщину [19]. У 1-месячной особи доля такой структуры составляет от 5 % на латеральной до 46 % на медиальной стенках тибиятарзуса. Из-за отсутствия генеральных пластинок периоста поверхность костей конечностей в молодом возрасте шероховатая и не имеет блеска, присущего гладкой поверхности костей взрослых особей. В орнитологии эта особенность используется при разделении выборки на молодых и взрослых [20].

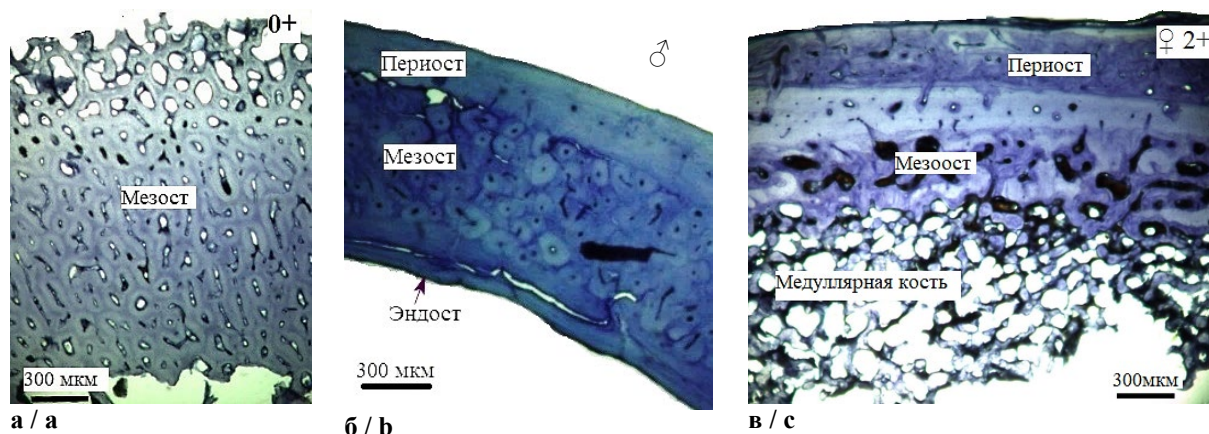


Рис. 2. Строение краниальной стенки Т2: а) молодой птицы; б) двухлетнего самца; в) самки 2,5 лет в стадии яйцекладки. Указан периост, мезост и эндост. Шкала 300 мкм /

Fig. 2. The structure of the cranial wall T2: а) a young bird; б) a two-year-old male; в) a 2.5-year-old female in the egg laying stage. Indicated the periosteum, haversian bone and the endosteal layer. Scale bar - 300 mkm

В старшем возрасте в гистархитектонике кости можно чётко выделить периост, мезост и эндост. У двухлетнего самца на поперечном срезе тибиятарзуса (рис. 2б) хорошо дифференцированы 2 слоя генеральных пластинок как в широком периостальном слое, так и в более узком эндостальном.

Отличительной особенностью строения тибиятарзуса самок (рис. 2в) является наличие в полости трубчатых костей тонкого мелко-ячеистого матрикса – медуллярной кости, продуцируемой эндостом¹².

В периосте 2-летней самки (рис. 2в) обнаруживаются 2 линии склеивания на латеральной стенке Т3 (рис. 3а) и Т1, а также на медиальной Т2. Это основные линии остановки роста, соответствующие зимнему периоду жизни птицы, когда наблюдается меньшая инсоляция, снижение разнообразия предоставляемых кормов в рационе и ограничен выгул. Первичных остеонов в периосте немного, они спорадически вклиниваются между слоями периоста. Отмечены участки периоста с дополнительными линиями склеивания.

Например, на кранио-латеральной поверхности среза Т3 из 4 линий склеивания имеются 2 дополнительные, расположенные близко к основным. Они неровные, но хорошо читаются. Мы предполагаем, что более тонкие линии склеивания периоста, кратные количеству основных, появляются в результате смены перьевого покрова, так как во время цикла линьки компактная костная ткань длинных костей птиц претерпевает серию трансформаций, что, по-видимому, коррелирует с повышенной потребностью в минералах в этот период [21].

Дополнительные линии склеивания появляются и при насиживании яиц. У двух птиц из выборки отмечено насиживание, хотя это обычно не свойственно курам кросса ломан браун. В обоих случаях отмечено появление одиночных дополнительных линий склеивания в периосте. У двухлетней самки 3-я непарная дополнительная линия склеивания в периосте видна на латеральной стенке Т2, на кранио-медиальной поверхности Т1 (рис. 3) и на медиальной стенке Т3.

¹²König H. E., Korbel R., Liebich H. G. Avian Anatomy: Textbook and Colour Atlas. Sheffield: 5M Publishing, 2016. 340 p.

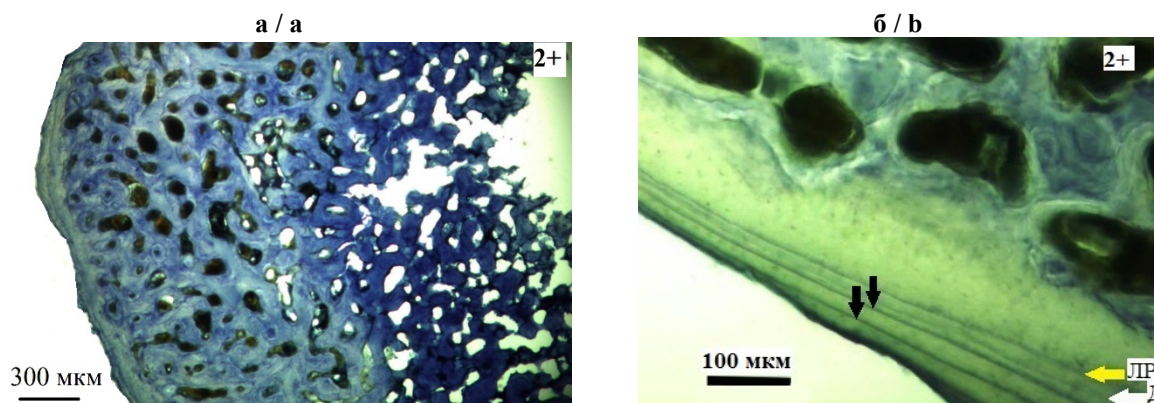


Рис. 3. Срез участка T1 самки 2+ в стадии активной яйцекладки: а) на латеральной стенке (общий вид); б) на кранио-медиальной стенке тибитарзуса: ЛР – линия резорбции, Д – дополнительные линии склеивания, шкала на фото /

Fig. 3. Section of the T1 section of a 2+ female in the active egg laying stage: a) on the lateral wall (general view); b) on the cranio-medial wall of tibiotarsus: LR – resorption line, D – additional lines of arrested growth, scale in the photo

Структура тибитарзуса самок после яйцекладки. Как правило, после 3 лет у кур происходит снижение яйценоскости и в октябре – ноябре на частных подворьях производится выборочный убой. Куры в это время не линяют и плохо несутся.

На поперечном срезе T1 у самки в возрасте 3,5 лет первичные остеоны проникают во все слои периоста, образуя организованные ряды (рис. 4а). Мезост становится очень тонким: местами от него остаются лишь островки. Ткань медуллярной кости очень большая и мелкоячеистая, в T1 и T2 она занимает прак-

тически всю внутреннюю полость кости. В периосте видны 3 линии склеивания на каудальной стенке T1 (рис. 4а) и латеральной стенке T2. В мезосте T2 появляются расширения в местах слияния широких гаверсовых и фолькмановских каналов – первые очаги резорбции (рис. 4а), появляющиеся на медиальной и каудальной стенках T2 (6 и 12 % от площади соответственно). На участке T3 стенка кости плотная, практически полностью представлена периостом, остеоны в ней не организованы в четкие ряды, поэтому данный участок в 3,5 года не информативен.

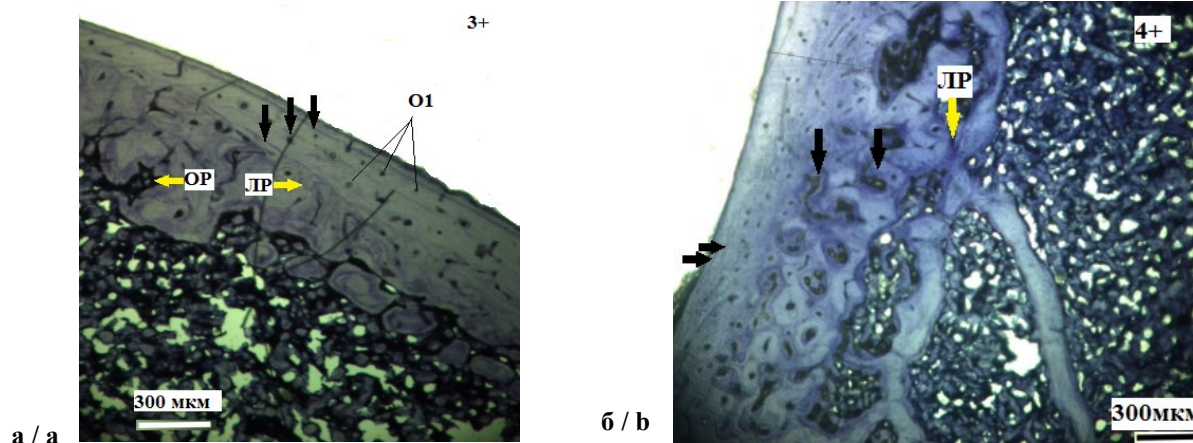


Рис. 4. Поперечные срезы T1 самок: а) в 3,5 года на каудальной стенке; б) в 4,5 года на медиальной стенке (LR – линия резорбции, OR – очаг резорбции, O1 – первичные остеоны, чёрные стрелки – линии склеивания и ряды участков резорбции), шкала 300 мкм /

Fig. 4. Cross sections T1 of females: a) at 3.5 years old on the caudal wall; b) at 4.5 years on the medial wall (LR - resorption line, OR - resorption focus, O1 - primary osteons, black arrows - lines of arrested growth and rows of resorption sites). Scale bar - 300 mkm

С 4-летнего возраста увеличивается естественный падеж птиц. В это же время проводят выбраковку кур по причине патологий органов яйцекладки.

В строении тибитарзуса самки в возрасте 4,5 года увеличивается количество участков резорбции мезоста. Периост заполняют как первичные, так и вторичные остеоны

на границе мезоста и периоста. Годовые слои угадываются в наиболее широких слоях периоста по рядам остеонов и очагов резорбции (рис. 4б). Лишь на вогнутой краниальной по-

верхности Т3 видны 4 плотных слоя генеральных пластинок. Толщина медуллярной кости уменьшилась, и её внутренний край уже виден на снимке (рис. 5а).

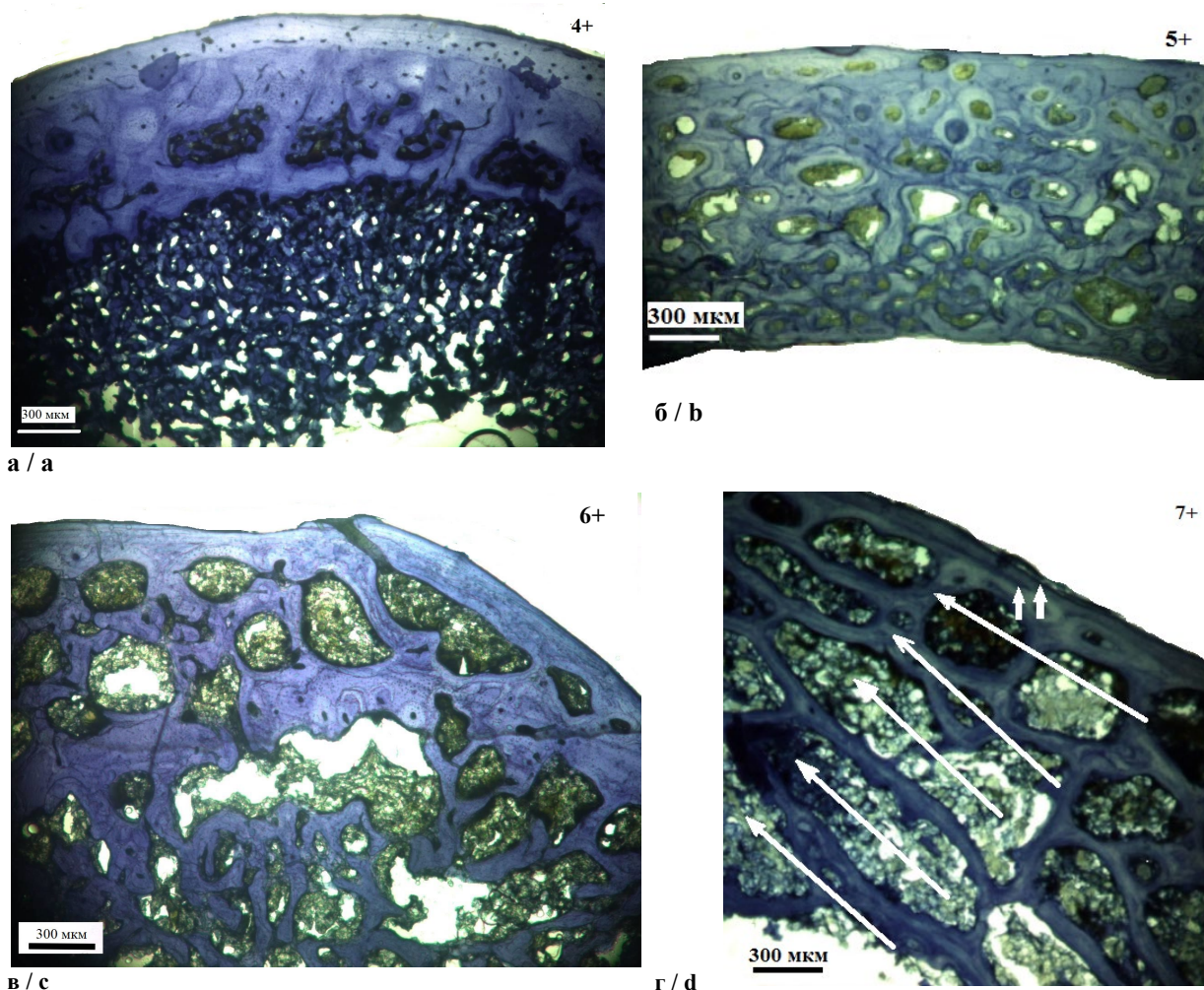


Рис. 5. Возрастные изменения краниальной стенки проксимального отдела тибиотарзуса (Т1) самок в возрасте: а) 4+; б) 5+; в) 6+; г) 7+, стрелками показаны линии склеивания и ряды пустот в периосте. Шкала 300 мкм /

Fig. 5. Age-related changes in the cranial wall of the proximal tibiotarsus (T1) of females aged: а) 4+; б) 5+; в) 6+; д) 7+, arrows show lines of arrested growth and rows of voids in the periosteum. Scale bar 300 mkm

К 5,5 годам мелкоячеистый матрикс исчезает из медуллярной полости кур, а интра-кортикальное ремоделирование тибиотарзуса достигает ещё большего развития. Слои периоста на срезах Т1 и Т2 не идентифицируются (рис. 5б). На участке Т1 только на латеро-краниальной стенке сохранились 4 линии склеивания. Гаверсова система подвергается сильнейшей резорбции, остеоны функционируют только в периосте.

Вторичные остеоны превращаются в пустоты или резорбционные полости, по краям вновь заполняемые центроостреми-

тельным отложением параллельно-волокнистой и пластинчатой костной ткани [22]. Стенка кости довольно плотная и перегородки между полостями относительно толстые (72-160 мкм).

В 6,5 лет разрушение кости прогрессирует. Организованный ряд пустот, вклинивающийся в линию резорбции, прослеживается только на краниальной стенке Т1 (рис. 5в). Кость здесь разрастается в толщину. Число линий склеивания в периосте, адекватное возрасту, найдено нами только на кранио-медиальной поверхности Т1 (рис. 6а).

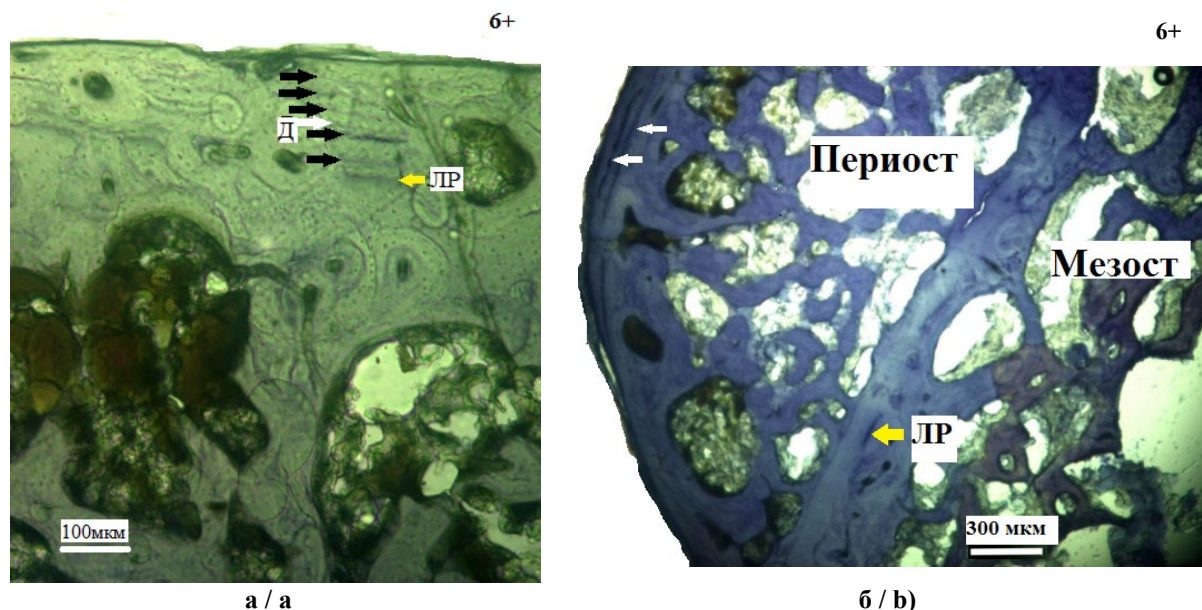


Рис. 6. Линии склеивания на поперечном срезе Т1 самки в 6,5 лет: а) кранио-медиальная стенка; б) латеральная стенка (ЛР – линия резорбции, чёрные стрелки – основные линии склеивания, Д – дополнительная линия склеивания), шкала на фото /

Fig. 6. Lines of arrested growth on a cross-section of a T1 female at 6.5 years of age: а) cranio-medial wall; б) lateral wall (LR – resorption line, black arrows – main lines of arrested growth, D – additional lines of arrested growth), scale in the photo

На латеральной и каудальной стенках Т1 видны две зоны резорбции – в периосте и мезосте, а линий склеивания сохранилось всего 2 (рис. 6б). Медуллярная кость расположена внутри пустот, часто не заполняя их полностью. Количество остеонов меньше, а перегородки между пустотами тоньше, чем у 5-летней особи. По своей структуре перегородки похожи на трабекулы медуллярной кости высокой степени организации.

На участках Т2 и Т3 пустоты постепенно объединяются в резорбционные полости, но на дистальном участке Т3 слои периоста остаются плотными, и линии склеивания видны почти на всех стенках, особенно на каудо-медиальной и краниальной. Остеонов на Т3 ещё относительно много. Если в 5 лет вокруг пустот образуются новые генеральные пластинки, то в 6 лет у них уже появляются свои линии склеивания, поэтому встречаются пустоты с 2-мя линиями склеивания.

У самки 7,5 лет на поперечных срезах тибиятарзуса периост и мезост сохранились только на медиальной стенке Т3. На участках Т1 и Т2 из-за резорбции остался только периост, состоящий из тонкого слоя остеонов и крупных пустот, вытянутых вдоль стенки кости. В корти-

кальном слое периоста обнаруживается до 2 слоёв генеральных пластинок. По периметру пустот насчитывается до 3 линий склеивания, а внутри пустот расположена медуллярная кость мелкоячеистой структуры. На краниальной стенке Т1 (рис. 5г) можно выделить до 7 годовых слоёв: 2 линии склеивания и 5 рядов пустот.

Таким образом, в строении тибиятарзуса кур в возрасте от 4,5 лет начинают появляться участки резорбции и полости, площади которых увеличиваются с каждым последующим годом. Большое количество лакун и полостей, расположенных в мезосте, отмечалось у кур даже в годовалом возрасте¹³. Мезост подвергается постоянным перестройкам, и полости в нём со временем исчезают, но у старых кур полости образуются в менее васкуляризованном слое – периосте. Их заполняет рыхлый и слабоструктурированный костный матрикс медуллярной кости, компенсирующей резорбцию на поздних стадиях онтогенеза [23]. Восстановления периоста не происходит, и пустоты растут с каждым годом.

Показатели возрастных изменений. Гистоморфологические характеристики проанализированы на участке середины диафиза тибиятарзуса Т2 (рис. 7а, 7б, 7в, 7г, 7д).

¹³Чеканова М. И. Указ. соч.

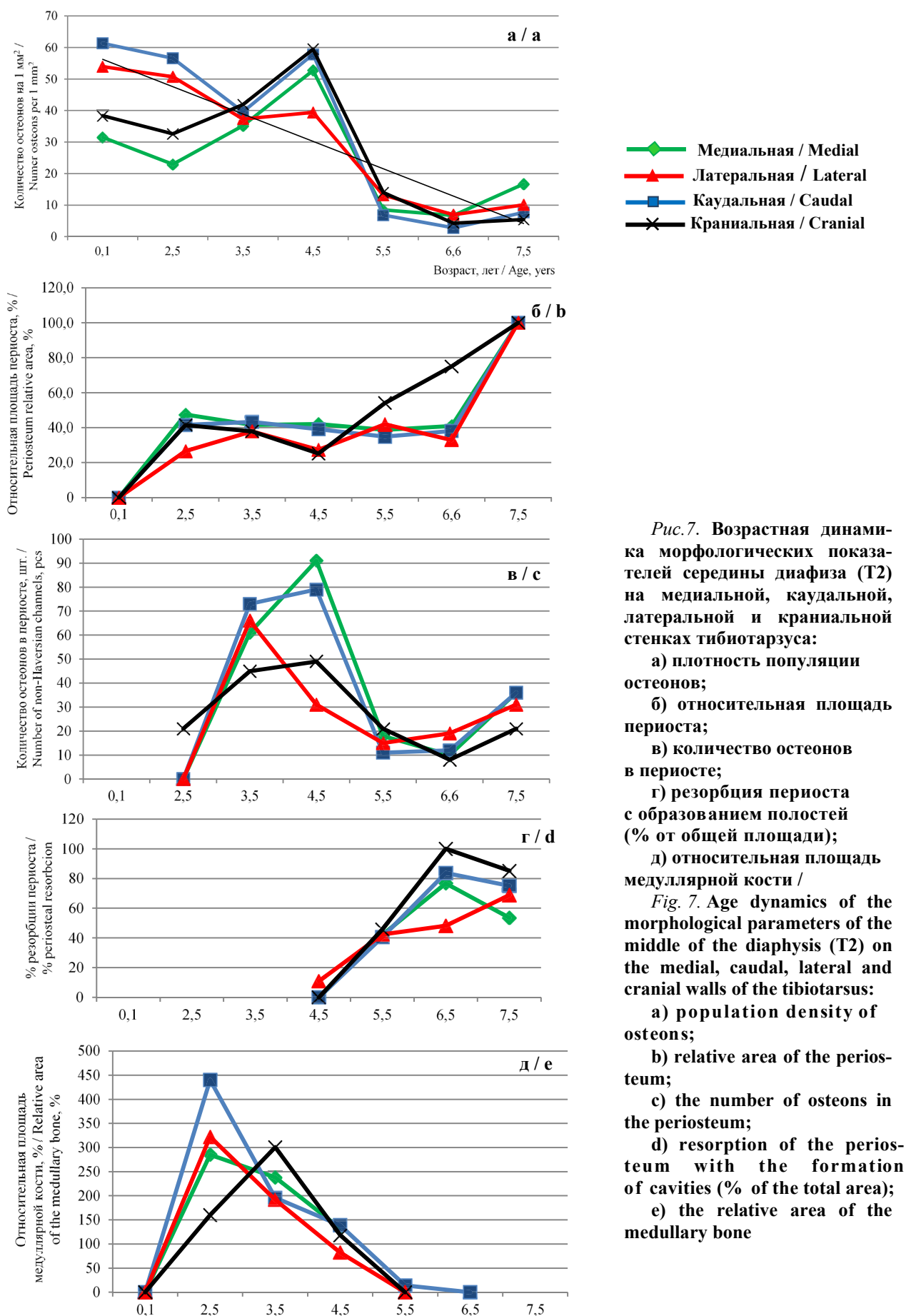


Рис.7. Возрастная динамика морфологических показателей середины диафиза (T2) на медиальной, каудальной, латеральной и краниальной стенках тибиотарзуса:

- а) плотность популяции остеонов;
- б) относительная площадь периоста;
- в) количество остеонов в периoste;
- г) резорбция периоста с образованием полостей (% от общей площади);
- д) относительная площадь медуллярной кости /

Fig. 7. Age dynamics of the morphological parameters of the middle of the diaphysis (T2) on the medial, caudal, lateral and cranial walls of the tibiotarsus:

- а) population density of osteons;
- б) relative area of the periosteum;
- в) the number of osteons in the periosteum;
- д) resorption of the periosteum with the formation of cavities (% of the total area);
- е) the relative area of the medullary bone

Плотность популяции остеонов (рис. 7а) с возрастом снижается. Наиболее равномерен этот процесс на латеральной стенке, здесь отмечена сильная отрицательная связь с возрастом ($r = -0,92$). Плотность по сравнению с молодой птицей снизилась к 2,5 годам всего на 8 %, в 3,5 года уже на 30 % в год; в 4,5 года отмечается подъём плотности за счёт увеличения первичных остеонов в периосте (+5 %). В 5,5 лет темпы снижения колоссальные – 67 % в год. В 6,5 лет плотность остеонов снижается ещё на 43 %, достигая минимума.

В растущей кости плотность популяции остеонов на краниальной и медиальной стенках Т2 на 40-50 % меньше, чем на каудальной и латеральной. Этот разрыв сохраняется и у 2-летней самки, а после 3 лет отличия стенок сглаживаются.

Периостальный слой кости начинает формироваться на внешней поверхности длинных костей конечностей кур в 3-4 месяца, и в конце первого года жизни отмечается значительное утолщение генеральных пластинок¹⁴. Плотность остеонов в мезосте (или гаверсовой кости) не зависит от индивидуаль-

ного возраста [22], поэтому мы приводим ряд показателей изменений периостального слоя тибиятарзуса.

Толщина периоста с возрастом прямолинейно увеличивается. Наиболее тесная корреляция с возрастом отмечена на медиальной стенке ($r = 0,98$), где зависимость толщины стенки от возраста с 2,5 лет можно описать уравнением $y = 0,1306x + 1,1164$, ($R^2 = 0,92$). Средние значения толщины периоста с учётом стандартной ошибки среднего и доверительный интервал при уровне значимости 95 % представлены на рисунке 8. Доверительный интервал максимален в 6,5 и 7,5 лет, так как увеличивается разница в толщине периоста на разных стенках.

Относительная площадь периоста также имеет тенденцию к увеличению (рис. 7.б). На краниальной и латеральной стенках Т2 рост этого показателя проходит в 2 этапа: первый – до 3,5 лет за счёт отложения новых слоёв; второй – с 5,5 до 7,5 лет. На медиальной и каудальной стенках кости относительная площадь периоста с 2,5 до 6,5 лет практически не изменяется и держится на уровне 40 %.

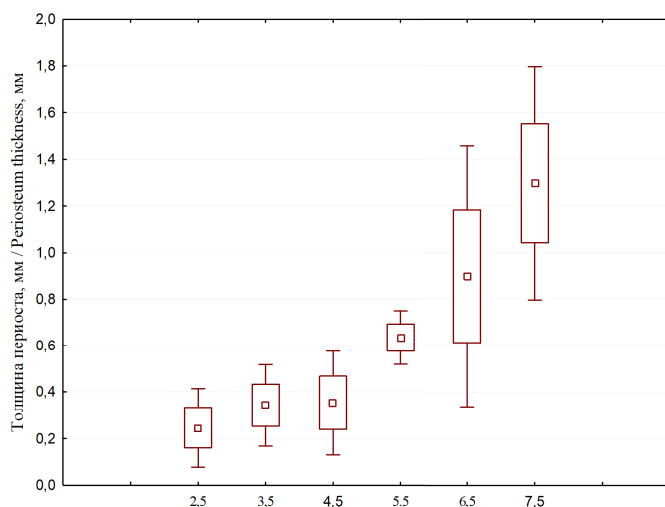


Рис. 8. Динамика толщины периоста Т2 в зависимости от возраста особей (по оси абсцисс – годы; точка – среднее арифметическое; прямоугольник – среднее арифметическое ± стандартная ошибка среднего; «усы» – доверительный интервал, $P = 95\%$) /

Fig. 8. Dynamics of the thickness of the periosteum T2 depending on the age of individuals (abscissa – years; point – mean; rectangle – mean ± standard error; "whiskers" – mean ± 1.96 × standard error, $P = 95\%$)

Количество остеонов в периосте (рис. 7в) считается достаточно точным показателем возрастных изменений костей [24]. У млекопитающих такую «негаверсову» микроструктуру приобретают участки костей с высоким растягивающим напряжением [25], этим мы и объясняем значительные различия в степени её развития на разных стенках середины тибиятарзуса. На краниальной стенке Т2 остеоны в периосте присутствуют уже в 2,5 года, в 4,5 года их количество максимально, а затем снижается.

Появление резорбционных полостей в периосте Т2 начинается на латеральной стенке тибиятарзуса с 4,5 лет, на остальных стенках – с 5,5 лет. Позднее относительная площадь резорбции периоста только увеличивается (рис. 7г).

Площадь, занимаемая медуллярной костью (рис. 7д), во время активной яйцекладки кур (1-2 года) превышает площадь стенки кости в 3,0-4,5 раза, нередко заполняя почти весь просвет медуллярной полости. Относительная

¹⁴Там же.

площадь медуллярной кости после 3,5 лет снижается (на краниальной стенке Т2 – с 4,5 лет). В 4-5 лет в середине диафиза тибіотарзуса медуллярная кость начинает обнаруживаться в пустотах периоста, постепенно исчезая из медуллярной полости. В 6-7-летнем возрасте, когда пустоты увеличиваются до 0,3-0,4 мм², медуллярная кость обнаруживается даже не по всей площади пустот, а только около их стенок.

В годовом цикле домашней курицы медуллярная кость регистрируется непосредственно перед началом, во время и реже сразу после окончания яйцекладки [26]. Иногда во время линьки самка может нестись, пусть и с меньшей продуктивностью, что зависит от интенсивности и стадии линьки [27]. Следовательно, изменение площади медуллярных структур несёт как сезонный, так и возрастной характер, в первую очередь, реагируя на гормональный фон птицы [28].

Таким образом, процесс резорбции тибіотарзуса происходит на разных стенках неравномерно. Он связан с механической нагрузкой, направленной на конкретный участок кости (сжатием, растяжением или скручиванием). Вместе с тем, неравномерная резорбция помогает даже в 6 и 7 лет сохранить целыми небольшие участки периоста с линиями склеивания. Из приведённых показателей лишь плотность популяции остеонов на латеральной стенке и абсолютная толщина периоста на медиальной стенке кости достоверно отражают возрастные изменения. Наличие первичных или вторичных остеонов в слоях периоста, появление и развитие очагов резорбции и резорбционных полостей, развитие медуллярной кости и исчезновение её из медуллярной полости – это гистологические маркеры, которые мы рекомендуем использовать при описании возрастных изменений середины тибіотарзуса птиц.

Заключение. В строении тибіотарзуса имеются возрастные и гендерные различия. У молодых особей эндостальная и периостальная зоны кости не сформированы, тогда как у самцов в старшем возрасте в гистархитектонике кости можно чётко выделить периост, мезост и эндост. У самок во внутренней полости располагается медуллярная кость – мелкочаеистая структура эндостального происхождения.

В плечевой кости линии склеивания видны как в периосте, так и эндосте, но из-за скрученности и изогнутости кости сложно

отличить основные и дополнительные линии склеивания.

Выделение в тибіотарзусе самок 3 участков оправдано, так как на эти участки в различной степени подвергаются резорбции.

Т1 – участок у проксимального эпифиза, к которому прикрепляется много мышц, кость на этом участке часто пневматизирована, тогда как на двух других середина кости заполнена жёлтым костным мозгом и жиром. Адекватное возрасту количество линий склеивания на латеральной и краниальной стенках Т1 обнаруживается до 4,5 лет, затем начинается резорбция. Позднее можно найти остатки линий склеивания между остеонами и полостями периоста. На медиальной и краниальной стенках из-за большой толщины кости пустоты могут располагаться рядами вдоль линий склеивания. Здесь можно проследить годовые слои при сильной резорбции кости. На кранио-медиальной стенке Т1 обнаружены дополнительные линии склеивания.

Участок Т3 находится около дистального эпифиза и несёт опорную функцию, слои генеральных пластинок в этом месте наиболее плотные и разрушаются в последнюю очередь. Линии склеивания чаще читаются на латеральной и краниальной стенках, а также латеро-каудальной и каудо-медиальной. С 6,5 лет линии склеивания остаются в вогнутости краниальной стенки, а ряды пустот начинают читаться на медиальной стенке Т3. Дополнительные линии склеивания обнаружены на кранио-латеральной и медиальной стенках.

Середина диафиза тибіотарзуса (Т2) – по своей структуре переходный участок. Кость здесь плотная и пустоты не образуют ряды, поэтому возраст кур на этом участке по линиям склеивания уверенно читается на латеральной и медиальной стенках до 4,5 лет. Позднее нужно искать остатки линий резорбции между остеонами и полостями. Участок Т2 имеет овальную форму и поэтому наиболее удобен для измерений.

К регистрирующим структурам позвоночных следует отнести периостальный слой тибіотарзуса птиц.

Выявлено, что с возрастом увеличивается толщина периоста и относительная площадь резорбции кортикального слоя. Сначала возрастают, а затем идут на спад плотность популяции остеонов и абсолютное количество остеонов в периосте (негаверсовых каналов). Данные показатели отражают тенденции возрастных изменений в гистологии тибіотар-

зуса, что позволяет рекомендовать их как возрастные маркеры. Наиболее тесная связь с возрастом птицы толщины периоста на медиальной стенке и плотности популяции остеон на латеральной стенке T2.

Резорбция кости имеет индивидуальный характер. Хотя на дистальном и проксимальном участках (T3 и T1) кур годовые слои прослеживаются даже при сильной резорбции, при анализе поперечных срезов следует осматривать весь периост.

Дополнительные линии склеивания периоста тоньше основных. В результате их образования нарушается нормальное соотношению ширины годовых слоёв. У птиц, насиживавших кладку, отмечено появление одинокых дополнительных линий склеивания в периосте. Мы предполагаем, что появление нескольких дополнительных линий склеивания, кратных количеству основных, появляются в период смены перьевого покрова, но этот вопрос требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Иванова К. Ю. Продуктивность кур кроссов «Шейвер 2000» и «Ломан браун». В мире научных открытий: мат-лы III Всерос. студенческой научн. конф. (с международным участием). Т. VI. Ульяновск: УГСХА им. П. А. Столыпина, 2014. С. 67-71. Режим доступа: <http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/123456789/7528/1/2014-09-67-71.pdf>
2. Астраханцев А. А., Михеев К. А. Рост и развитие ремонтного молодняка яичных кур кроссов «Ломанн». Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(2):8-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26622879>
3. Breugelmans S., Muylle S., Cornillie P., Saunders J., Simoens P. Age determination of poultry: a challenge for customs. Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift. 2007;76(6):423-430. URL: <https://www.vdt.ugent.be/sites/default/files/art76605.pdf>
4. Пасніченко О. С., Григоровська А. В., Ткачук С. А. Особливості гістоархітекτονіки середини діафіза плечової кістки качок кросу «Благоварський» у постнатальному періоді онтогенезу. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. 2016;33(2):248-253. URL: <http://lib.osau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2341/1/2.pdf>
5. Исаенков Е. А., Козлов А. Б., Волкова М. В., Тимофеева Г. С., Пануев М. С. Возрастные изменения опорно-двигательного аппарата у кур мясного направления. Морфология животных. 2010;(1):18-22.
6. Забудский Ю. И. Репродуктивная функция у гибридной сельскохозяйственной птицы. Сообщение III. Влияние возраста родительского стада. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(4):436-449. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.4.436rus>
7. Mitchell P. Ch. On longevity and relative viability in mammals and birds with a note on the theory of longevity. Proceedings of the Zoology Society of London. 1911;2:425-548. URL: <https://archive.org/details/biostor-107546/page/n1/mode/2up>
8. Клевезаль Г. А., Смирнова Э. М. Регистрирующие структуры наземных позвоночных. Краткая история и современное состояние исследований. Зоологический журнал. 2016;95(8):872-896. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0044513416080079>
9. Суханова Н. С. Возрастные маркеры в исследовании позвоночных животных. IV городские зоологические чтения, посвященные памяти ученого-естествоиспытателя Сергея Владимировича Маракова (1929-1986). Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2019. С. 47-50.
10. Nelson R. C., Bookhout T. A. Counts of periosteal layers invalid for aging Canada geese. The Journal of Wildlife Management. 1980;44(2):518-521. DOI: <https://doi.org/10.2307/3807992>
11. Drozdowska J., Meissner W. Changes in endosteal cell layer number of long bones are not appropriate for ageing birds: Evidence from Baltic razorbills (Alca torda Linnaeus, 1758). Zoologischer Anzeiger. 2014;253(6):493-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2014.07.001>
12. Van Soest R. W. M., Van Utrecht W. L. The layered structure of bones of birds as a possible indication of age. Bijdragen tot de Dierkunde. 1971;41(1):61-66. DOI: <https://doi.org/10.1163/26660644-04101008>
13. Bourdon E., Castanet J., De Ricqlès A., Scofield P., Tennyson A., Lamrous H., Cubo J. Bone growth marks reveal protracted growth in New Zealand kiwi (Aves, Apterygidae). Biology Letters. 2009;5(5):639-642. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0310>
14. Turvey S. T., Green O. R., Holdaway R. N. Cortical growth marks reveal extended juvenile development in New Zealand moa. Nature. 2005;435:940-943. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature03635>
15. Angst D., Chinsamy A., Steel L., Hume J. P. Bone histology sheds new light on the ecology of the dodo (Raphus cucullatus, Aves, Columbiformes). Scientific Reports. 2017;7(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08536-3>
16. Chinsamy A., Angst D., Canoville A., Göhlich U. B. Bone histology yields insights into the biology of the extinct elephant birds (Aepyornithidae) from Madagascar. Biological Journal of the Linnean Society. 2020;130(2):268-295. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa013>
17. Stout S. D., Crowder C. Bone remodeling, histomorphology, and histomorphometry. Bone Histology: An Anthropological Perspective, Boca Raton: CRC Press, 2011. pp. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1201/b11393>
18. Chinsamy A., Elzanowski A. Evolution of growth pattern in birds. Nature. 2001;412:402-403. DOI: <https://doi.org/10.1038/35086650>
19. De Margerie E. D., Robin J. P., Verrier D., Cubo J., Groscolas R., Castanet J. Assessing a relationship between bone microstructure and growth rate: a fluorescent labelling study in the king penguin chick (Aptenodytes patagonicus). Journal of Experimental Biology. 2004;207:869-879. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.00841>

20. Hospitaleche C. A., Picasso M. J. B. Textural ageing in *Pygoscelis antarctica* (Aves, Sphenisciformes): a new comparative scale for penguin bones. *Vertebrate Zoology*. 2020;70(2):125-139. DOI: <https://doi.org/10.26049/VZ70-2-2020-03>
21. Meister W. Changes in histological structure of the long bones of birds during the moult. *Anatomical Record*. 1951;111(1):1-21. DOI: <https://doi.org/10.1002/ar.1091110102>
22. Ponton F., Montes L., Castanet J., Cubo J. Bone histological correlates of high-frequency flapping flight and body mass in the furculae of birds: a phylogenetic approach. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2007;91(4):729-738. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00836.x>
23. Prondvai E. Medullary bone in fossils: function, evolution and significance in growth curve reconstructions of extinct vertebrates. *Journal of evolutionary biology*. 2017;30(3):440-460. DOI: <https://doi.org/10.1111/jeb.13019>
24. Streeter M. Histological age-at-death estimation. *Bone Histology: An Anthropological Perspective*, Boca Raton: CRC Press, 2011. pp. 135-152.
25. Mayya A., Banerjee A., Rajesh R. Mammalian cortical bone in tension is non-Haversian. *Scientific Reports*. 2013;3:2533. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep02533>
26. Van Neer W., Noyen K., De Cupere B., Beuls I. On the use of endosteal layers and medullary bone from domestic fowl in archaeozoological studies. *Journal of Archaeological Science*. 2002;29(2):123-134. DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0696>
27. Ларионов В. Ф. Смена покровов и её связь с размножением у птиц. Учёные записки Московского университета. 1945;88:3-96.
28. Фисинин В. И., Коноплева А. П. О физиологических и морфологических процессах в организме птицы при естественной и принудительной линьке. *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(6):719-728. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.719rus>

References

1. Ivanova K. Yu. *Produktivnost' kur krossov «Sheyver 2000» i «Loman braun»*. [The productivity of chickens crosses «shaiver 2000» and «lohmanbrown»]. *V mire nauchnykh otkrytiy: mat-ly III Vseros. studencheskoy nauchn. konf. (s Mezhdunarodnym uchastiem)*. [In the world of scientific discoveries: Proceedings of the 3d All-Russian student scientific Conference (with International participation)]. Vol. VI. Ulyanovsk: UGSKhA im. P. A. Stolypina, 2014. pp. 67-71. URL: <http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/123456789/7528/1/2014-09-67-71.pdf>
2. Astrakhansev A. A., Mikheev K. A. *Rost i razvitie remontnogo molodnyaka yaichnykh kur krossov "Lomann"*. [Growth and development of replacement chickens of "Lohmann" crosses] *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016;(2):8-13. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26622879>
3. Breugelmans S., Muylle S., Cornillie P., Saunders J., Simoens P. Age determination of poultry: a challenge for customs. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*. 2007;76(6):423-430. URL: <https://www.vdt.ugent.be/sites/default/files/art76605.pdf>
4. Пасніченко О. С., Григоровська А. В., Ткачук С. А. Особливості гістоархітекτονіки середини діафіза плечової кістки качок кросу «Благоварський» у постнатальному періоді онтогенезу. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. 2016;33(2):248-253. URL: <http://lib.osau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2341/1/2.pdf>
5. Isaenkov E. A., Kozlov A. B., Volkova M. V., Timofeeva G. S., Panuev M. S. *Vozrastnye izmeneniya oporno-dvigatel'nogo apparata u kur myasnogo napravleniya*. [Age-related changes in the musculoskeletal system in meat chickens]. *Morfologiya zhivotnykh*. 2010;(1):18-22. (In Russ.).
6. Zabudskiy Yu. I. *Reproduktivnaya funktsiya u gibridnoy sel'skokhozyaystvennoy ptitsy. Soobshchenie III. Vliyaniye vozrasta roditel'skogo stada*. [Reproductive function in hybrid poultry. III. An impact of breeder flock age]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2016;51(4):436-449. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.4.436rus>
7. Mitchell P. Ch. On longevity and relative viability in mammals and birds with a note on the theory of longevity. *Proceedings of the Zoology Society of London*. 1911;2:425-548. URL: <https://archive.org/details/biostor-107546/page/n1/mode/2up>
8. Klevezal G. A., Smirina E. M. *Registriruyushchie struktury nazemnykh pozvonochnykh. Kratkaya istoriya i sovremennoe sostoyaniye issledovaniy*. [Recording structures of terrestrial vertebrates. A sketch of history and the current state of investigations]. *Zoologicheskii zhurnal*. 2016;95(8):872-896. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.7868/S0044513416080079>
9. Sukhanova N. S. *Vozrastnye markery v issledovanii pozvonochnykh zhivotnykh*. [Age markers in the study of vertebrates]. IV gorodskie zoologicheskie chteniya, posvyashchennyye pamyati uchenogo-estestvoispytatelya Sergeya Vladimirovicha Marakova (1929-1986). [IV City Zoological readings dedicated to the memory of the scientist-naturalist Sergey Vladimirovich Marakov (1929-1986)]. Kirov: OOO «Izdatel'stvo «Raduga-PRESS», 2019. pp. 47-50.
10. Nelson R. C., Bookhout T. A. Counts of periosteal layers invalid for aging Canada geese. *The Journal of Wildlife Management*. 1980;44(2):518-521. DOI: <https://doi.org/10.2307/3807992>
11. Drozdowska J., Meissner W. Changes in endosteal cell layer number of long bones are not appropriate for ageing birds: Evidence from Baltic razorbills (*Alca torda* Linnaeus, 1758). *Zoologischer Anzeiger*. 2014;253(6):493-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2014.07.001>
12. Van Soest R. W. M., Van Utrecht W. L. The layered structure of bones of birds as a possible indication of age. *Bijdragen tot de Dierkunde*. 1971;41(1):61-66. DOI: <https://doi.org/10.1163/26660644-04101008>
13. Bourdon E., Castanet J., De Ricqlès A., Scofield P., Tennyson A., Lamrous H., Cubo J. Bone growth marks reveal protracted growth in New Zealand kiwi (Aves, Apterygidae). *Biology Letters*. 2009;5(5):639-642. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0310>
14. Turvey S. T., Green O. R., Holdaway R. N. Cortical growth marks reveal extended juvenile development in New Zealand moa. *Nature*. 2005;435:940-943. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature03635>

15. Angst D., Chinsamy A., Steel L., Hume J. P. Bone histology sheds new light on the ecology of the dodo (*Raphus cucullatus*, Aves, Columbiformes). *Scientific Reports*. 2017;7(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08536-3>
16. Chinsamy A., Angst D., Canoville A., Göhlich U. B. Bone histology yields insights into the biology of the extinct elephant birds (*Aepyornithidae*) from Madagascar. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2020;130(2):268-295. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa013>
17. Stout S. D., Crowder C. Bone remodeling, histomorphology, and histomorphometry. *Bone Histology: An Anthropological Perspective*, Boca Raton: CRC Press, 2011. pp. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1201/b11393>
18. Chinsamy A., Elzanowski A. Evolution of growth pattern in birds. *Nature*. 2001; 412:402-403. DOI: <https://doi.org/10.1038/35086650>
19. De Margerie E. D., Robin J. P., Verrier D., Cubo J., Groscolas R., Castanet J. Assessing a relationship between bone microstructure and growth rate: a fluorescent labelling study in the king penguin chick (*Aptenodytes patagonicus*). *Journal of Experimental Biology*. 2004;207(5):869-879. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.00841>
20. Hospitaleche C. A., Picasso M. J. B. Textural ageing in *Pygoscelis antarctica* (Aves, Sphenisciformes): a new comparative scale for penguin bones. *Vertebrate Zoology*. 2020;70(2):125-139. DOI: <https://doi.org/10.26049/VZ70-2-2020-03>
21. Meister W. Changes in histological structure of the long bones of birds during the moult. *Anatomical Record*. 1951;111(1):1-21. DOI: <https://doi.org/10.1002/ar.1091110102>
22. Ponton F., Montes L., Castanet J., Cubo J. Bone histological correlates of high-frequency flapping flight and body mass in the furculae of birds: a phylogenetic approach. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2007;91(4):729-738. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00836.x>
23. Prondvai E. Medullary bone in fossils: function, evolution and significance in growth curve reconstructions of extinct vertebrates. *Journal of evolutionary biology*. 2017;30(3):440-460. DOI: <https://doi.org/10.1111/jeb.13019>
24. Streeter M. Histological age-at-death estimation. *Bone Histology: An Anthropological Perspective*, Boca Raton: CRC Press; 2011. pp. 135-152.
25. Mayya A., Banerjee A., Rajesh R. Mammalian cortical bone in tension is non-Haversian. *Scientific Reports*. 2013;3:2533. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep02533>
26. Van Neer W., Noyen K., De Cupere B., Beuls I. On the use of endosteal layers and medullary bone from domestic fowl in archaeozoological studies. *Journal of Archaeological Science*. 2002;29(2):123-134. DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0696>
27. Larionov V. F. *Smena pokrovov i ee svyaz' s razmnozheniem u ptits*. [Change of integuments and its relationship with reproduction in birds]. *Uchenye zapiski Moskovskogo universiteta*. 1945;88:3-96. (In Russ.).
28. Fisnin V. I., Konopleva A. P. *O fiziologicheskikh i morfologicheskikh protsessakh v organizme ptitsy pri estestvennoy i prinuditel'noy lin'ke*. [About physiological and morphological processes in poultry at natural and induced molting]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2015;50(6):719-728. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.719rus>

Сведения об авторе

✉ **Суханова Наталья Сергеевна**, научный сотрудник отдела экологии животных, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3663-4641>, e-mail: Nat55209@yandex.ru

Information about the author

✉ **Natalya S. Sukhanova**, researcher, the Department of Animal Ecology, Professor B. M. Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya str., Kirov, Russian Federation, e-mail: vnioz43@mail.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3663-4641>, e-mail: Nat55209@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.278-286>



УДК 637.116

Исследование режима течения жидкости при промывке молокопровода

© 2021. Р. А. Мамедова ✉

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

Целью исследования данной работы являлось определение изменения объема жидкостной пробки при движении в молокопроводе, что позволило вычислить первоначальную длину жидкостной пробки и соответственно определить длину воздушной пробки, это предоставило возможность управлять клапаном впуска жидкости и воздуха во время циркуляционной промывки доильного оборудования с молокопроводом и способствовало образованию устойчивого пробкового режима потока воды во время промывки. В данной статье рассмотрены вопросы образования волнового и пробкового режимов течения в молокопроводе в зависимости от степени заполнения и касательного напряжения на поверхности фаз. В результате получены кривые зависимости, которые показывают, что при степени заполнения молокопровода жидкостью от 0,4d до 0,6d вероятность образования пробок снижается. Проведены математические расчеты определения потери объема жидкостной пробки при движении в молокопроводе с использованием теории пограничного слоя. В результате получены кривые времени впуска воды и воздуха в систему в зависимости от протяженности и диаметра молокопровода. Данные инженерные методы расчета позволяют задавать параметры работы клапана впуска воды и воздуха в систему во время промывки. Для расчета параметров часто применяемых в доильном оборудовании труб с внутренним диаметром 48, 63, 70 и 98 мм написана программа на базе языка программирования Delphi. Приведен пример расчета времени открытия и закрытия клапана впуска воды и воздуха во время промывки молокопровода с внутренним диаметром трубы 48 мм протяженностью 120 м и давлением в системе 48 кПа. Экспериментальные исследования подтвердили достоверность расчетов, потеря длины жидкостной пробки для молокопровода Ø50,8 мм составляет в среднем 5 см на 1 метр пути.

Ключевые слова: трехходовой клапан, касательное напряжение, расслоенный режим, жидкостная пробка, пограничный слой

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2019-0009).

Автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мамедова Р. А. Исследование режимов течения жидкости при промывке молокопровода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):278-286. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.278-286>

Поступила: 24.02.2021

Принята к публикации: 31.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Research of the fluid flow regime during the milk pipeline washing

© 2021. Ravza A. Mamedova ✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The aim of the research was to determine the change in the volume of fluid slug moving in the milk pipeline for calculating the initial length of the fluid slug and thus the air slug length. This allows to control the fluid and air inlet valve during circulatory washing of milking equipment with milk line and provides a stable plug flow during washing. The article deals with the problems of formation of a wave flow and plug flow regime in a milk line in dependence to the degree of filling and shear stress on the surface of the phases. As the result, the dependence curves have been obtained. They show that when the degree of filling the milk line with liquid is from 0.4d to 0.6d, the probability of slug formation decreases. To determine the loss of a fluid slug volume moving in a milk line, mathematical calculations with the use of the boundary layer theory have been carried out. As the result, the curves of the time of fluid and air intake into the system depending on the length and diameter of the milk pipeline have been obtained. These engineering calculation methods allow to set the operating parameters of the valves for fluid and air inlet into the system during washing. To calculate the parameters of pipelines with an internal diameter of 48, 63, 70 and 98 mm often used in milking equipment, a Delphi-based program was written. The article provides an example of calculating the time of opening and closing the valve for the inlet of fluid and air during washing for a milk line with 48 mm pipe diameter, 120 m length and pressure in the system of 48 kPa. Experimental studies have confirmed the reliability of the calculations, the loss of the liquid plug length for the milk pipeline Ø50.8 mm is on average 5 cm per 1 meter of the fluid path.

Key words: three-way valve, shear stress, stratified mode, fluid slug, boundary layer

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0009). The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Mamedova R. A. Research of the fluid flow regime during the milk pipeline washing *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):278-286. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.278-286>

Received: 24.02.2021

Accepted for publication: 31.03.2021

Published online: 19.04.2021

Вопросы промывки доильного оборудования являются основными факторами, влияющими на качество получаемого молока [1]. Профессором В. Мором¹ еще в прошлом веке были предложены технологические операции по промывке доильного оборудования:

1) ополаскивание перед доением, которое включает: ополаскивание теплой водой (25...30 °C); сушка воздухом;

2) промывка после доения, состоит из следующих операций: ополаскивание теплой водой (25...30 °C); циркуляционная промывка с раствором; ополаскивание холодной водой; сушка воздухом.

Совершенствование и создание доильных установок предъявляет новые требования к системам промывки. Последнее время широкое применение на животноводческих фермах нашли доильные установки с протяженным молокопроводом. В молокопроводе при доении – спокойный режим течения молока, но в то же время для эффективной промывки трубопровода необходимо смачивание всей внутренней поверхности трубы [2, 3, 4]. Данный эффект достигается при сплошном или пробковом режимах промывки. Недостатком первого варианта является большой расход воды, учитывая, что протяженность труб может достигать сотен метров. Наиболее оптимальным вариантом при промывке трубопровода является применение пробкового режима, когда в системе периодически происходит выпуск моющей воды и воздуха, что способствует образованию жидкостных и воздушных пробок.

Изучению систем промывки доильных установок с образованием жидкостной пробки посвящены работы доктора J. Reinemann, G. A. Main, P. L. Ruegg и других [5, 6, 7, 8], в которых в основном уделено внимание конструктивным элементам автомата промывки, эксплуатационным показателям и способам выпуска воды и воздуха в систему во время

промывки. В России проблеме промывки доильного оборудования посвящены работы [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16], где в основном рассмотрены конструктивные изменения в системе промывки для обеспечения смачивания всей внутренней поверхности молокопровода. В данной статье рассмотрено образование волнового и пробкового режимов течения в молокопроводе, проведены математические расчеты определения потери воды при движении жидкостной пробки в молокопроводе, дана математическая модель образования жидкостной пробки при промывке доильных установок и инженерные методы расчета параметров работы клапана выпуска воды и воздуха, способствующих образованию пробкового режима течения газожидкостной смеси во время циркуляционной промывки.

Цель исследования – определение изменения объема жидкостной пробки при движении в молокопроводе.

Если определить потери жидкости при движении жидкостной пробки по трубопроводу, то можно вычислить первоначальную длину жидкостной пробки и соответственно найти длину воздушной пробки, что дало возможность управлять клапаном выпуска жидкости и воздуха во время циркуляционной промывки доильного оборудования с молокопроводом и способствовало образованию устойчивого пробкового режима промывки.

Материал и методы. Физика и механика движения газа и жидкости в трубе достаточно известна и хорошо описана В. А. Мамаевым², Г. Е. Одишария и другими. Применительно к молокопроводам предъявляются противоречивые требования, а именно: во время доения необходим расслоенный режим течения молока, а во время промывки – пробковый режим течения жидкости, что требует проведения дополнительных исследований.

¹Моор В., Вольтер М. Мойка и дезинфекция в молочном деле. Пер. с нем. М.: Пищепромиздат, 1957. 163 с.

²Мамаев В.А., Одишария Г.Э., Клапчук О.В. и др. Движение газожидкостных смесей в трубах. М.: Недра, 1978. 270 с.

Основными факторами, влияющими на режим течения являются степень заполнения сечения трубы жидкостью, внутренняя шероховатость и уклон трубы, напряжение сдвига на поверхности раздела фаз [7].

При расчете двухфазного течения (жидкость – воздух) использовали гипотезу Л. Прандтля³, по которой касательное напряжение на поверхности раздела фаз определяли следующим образом:

$$\tau_e = x^2 \times h_t^2 \times \rho_{см} \times \Delta V_0^2, \quad (1)$$

где τ_e – касательное напряжение, Па; x – первая константа турбулентности; h_t – степень заполнения, м; $\rho_{см}$ – плотность газожидкостной смеси, кг/м³; ΔV_0 – градиент скорости, м/с.

Определяли плотность газожидкостной смеси по следующему выражению:

$$\rho_{см} = \varphi_r \times \rho_r + (1 - \varphi_r) \times \varphi_{ж}, \quad (2)$$

где φ_r – объемное газосодержание; $\varphi_{ж}$ – объемное содержание жидкости; ρ_r – плотность газа, кг/м³.

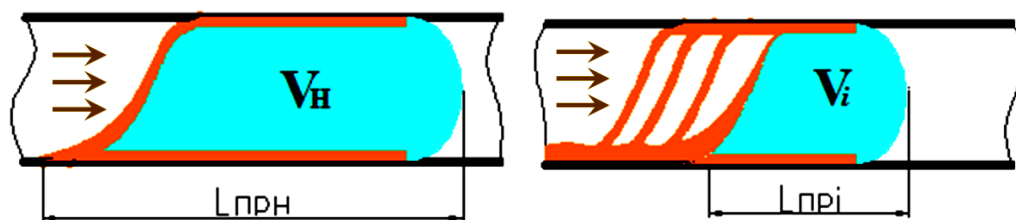


Рис. 1. Жидкостная пробка в движении: V_n – первоначальный объем, л; V_i – объем после прохождения i -й длины участка трубопровода, л; $L_{прн}$ – начальная длина пробки, м; $L_{прі}$ – длина пробки после прохождения i -й длины участка трубопровода, м /

Fig. 1. Fluid plug in moving: V_n – initial volume, l; V_i – volume after passing the i length of the pipeline section, l; $L_{прн}$ – initial slug length, m; $L_{прі}$ – slug length after passing the i length of the pipeline section, m

Основываясь на известных законах физики движения жидкости в трубопроводе, считаем, что необходимый объем жидкостной пробки во время промывки должен удовлетворять следующему условию, л:

$$\Delta V = V_n - V_k, V_k \geq 0; \quad (5)$$

$$\Delta V = \Delta V_{пс} + \Delta V_{кч},$$

где V_n – начальный объем; V_k – конечный объем; $\Delta V_{пс}$ – объем отставшей от пробки жидкости («потеря массы») в зоне пограничного слоя; $\Delta V_{кч}$ – объем стекающей жидкости («потеря массы») с кормовой части пробки.

Требуется задать такой первоначальный выпуск объема жидкости, чтобы пробка сохранилась при движении по всему трубопроводу. На рисунке 2 приведена схема жидкостной пробки с учетом распределения скорости во время движения.

$$\varphi_r = \frac{\omega_r}{\omega}; \quad \varphi_{ж} = \frac{\omega_{ж}}{\omega}, \quad (3)$$

где ω – площадь сечения трубы, м; ω_r – площадь заполнения поперечного сечения трубы воздухом, м².

Для определения площади заполнения поперечного сечения трубы потоком жидкости использовали следующее выражение:

$$\omega_{ж} = \pi/8 \times d^2 \times \arcsin \sqrt{4 \left(\frac{h_t}{d} \right) - 4 \left(\frac{h_t}{d} \right)^2}, \quad (4)$$

где $\omega_{ж}$ – площадь заполнения поперечного сечения трубы потоком жидкости, м²;

d – диаметр трубы, м.

Для данного выражения должно соблюдаться условие, что $\frac{h_t}{d} \leq 1$.

При определении параметров образования пробкового режима течения жидкости во время промывки необходимо также учитывать, что во время движения масса жидкостной пробки уменьшается, что обусловлено прилипанием пограничных слоев жидкости к стенке трубопровода под действием сил гравитации (рис. 1).

В расчетах были приняты допущения, что вся масса жидкости в пределах пограничного слоя будет потерянной массой пробки при движении. Чтобы оценить толщину турбулентного пограничного слоя применяют три показателя: толщина вытеснения δ_1 , толщина потери импульса δ_2 и толщина потери энергии δ_3 . Так как последние два показателя применяются при определении коэффициента сопротивления и потери энергии на трение, то использовали только толщину вытеснения по формуле Г. Шлихтинга⁴:

$$\delta_1 U = \int_{y=0}^{\infty} (U - u) dy, \quad (6)$$

$$\frac{\delta_1}{\delta} = \frac{1}{n+1},$$

где U – скорость пробки, м/с; u – средняя скорость пробки, м/с; n – показатель степени.

³Прандтль Л. Гидроаэромеханика. М.: Иностранная литература, 1949. 520 с.

⁴Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969. 744 с.

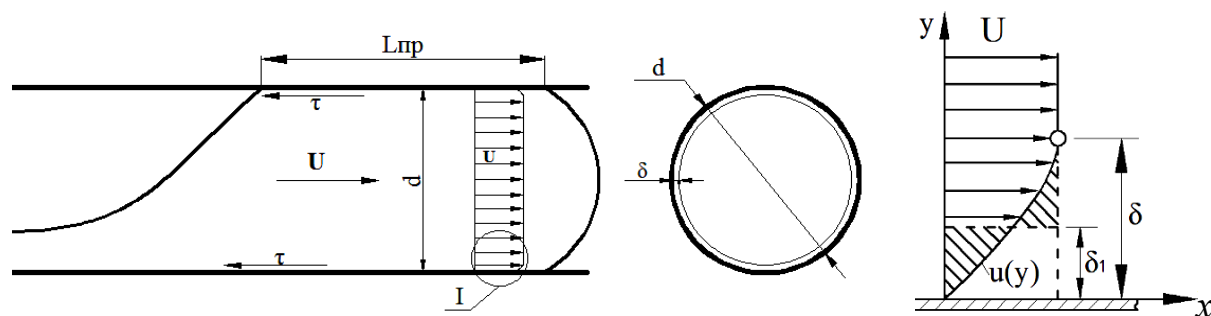


Рис. 2. Схема движения жидкостной пробки с распределением скоростей: $L_{пр}$ – длина пробки, м; U – скорость пробки, м/с; u – скорость в пограничном слое, м/с; δ – толщина пограничного слоя, мм; δ_1 – толщина вытеснения, мм /

Fig. 2. The scheme of movement of a fluid plug with a velocity distribution: $L_{пр}$ – plug length, m; U – plug speed, m/s; u – the velocity in the boundary layer, m/s; δ – boundary layer thickness, mm; δ_1 – displacement thickness, mm

Для определения касательного напряжения на стенке молокопровода использовали следующую формулу⁵:

$$\tau_e = 0,0225 \rho U^{7/4} \left(\frac{\nu}{R} \right)^{1/4}, \quad (7)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с; R – радиус трубы, м.

Для определения динамической скорости во время движения жидкости применили формулу Л. Прандтля:

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_e}{\rho}} = \sqrt{0,0225 \cdot U^{7/4} \left(\frac{\nu}{R} \right)^{1/4}}. \quad (8)$$

С помощью следующего соотношения определили скорость движения в пограничном слое в зависимости от числа Re и толщины пограничного слоя:

$$\frac{U-u}{v^*} = 5,75 \lg \left(\frac{R}{h_t} \right). \quad (9)$$

При определении объема жидкости, стекающей с кормовой части во время движения пробки под действием сил гравитации, приняли следующее допущение: весь объем жидкости в кормовой части стекает по плоской поверхности без учета давления воздуха.

Из рисунка 2 видно, что при увеличении длины кормовой части жидкостной пробки по оси X возрастает толщина пограничного слоя $\delta(x)$. Использовали уравнение расчета турбулентного пограничного слоя⁶:

$$\delta(x) = 0,37x \left(\frac{ux}{\nu} \right)^{-1/5}, \quad (10)$$

где $x = \sqrt{d^2 + (\gamma d)^2}$, а γ – величина деформации сдвига объема моющей жидкости в кормовой части пробки при движении.

Пример расчета: подставляем значение диаметра молокопровода $d = 50,8$ мм, $\gamma = 0,415$, тогда $x = 55$ мм. Скорость движения жидкостной пробки $U = 9$ м/с, кинематическая вязкость моющей жидкости $\nu = 3 \cdot 10^{-6}$ м²/с, число Рейнольдса $Re = 1,5 \cdot 10^5$. Из выражения (8) динамическая скорость $v^* = 0,33$. Подставляем значения в формулу (9) и определяем $u = 0,968$ м/с. Подставляя значения в формулу (10) определяем $\delta = 2,8$ мм. Значение толщины подтекающего слоя жидкости δ , позволяет определить потери жидкостной пробки при прохождении 1 м пути. Объем потери жидкости при прохождении 1 м трубы $d = 50,8$ мм составил 0,092 л (удельной длины 4,54 см).

Результаты и их обсуждение. Получены теоретические зависимости определения касательного напряжения на поверхности раздела фаз в зависимости от уклона молокопровода (рис. 3). Анализируя зависимости, заметим, что касательное напряжение на поверхности раздела фаз при $h_t/d \approx 0,2$ и $h_t/d \geq 0,6$ увеличивается, следовательно, возрастает вероятность образования пробок, а при степени заполнения трубы $0,4 \div 0,5d$, касательное напряжение на поверхности раздела фаз минимальное, что говорит о волновом режиме течения жидкости.

Зная значение диаметра и протяженность молокопровода, можно определить необходимый начальный объем жидкости, а, следовательно, и определить время открытия клапана для впуска воды в молокопровод. На рисунке 4 приведены кривые расчета времени впуска жидкости и воздуха в зависимости от диаметра и длины молокопровода.

⁵Прандтль Л. Указ. соч.

⁶Шлихтинг Г. Указ. соч.

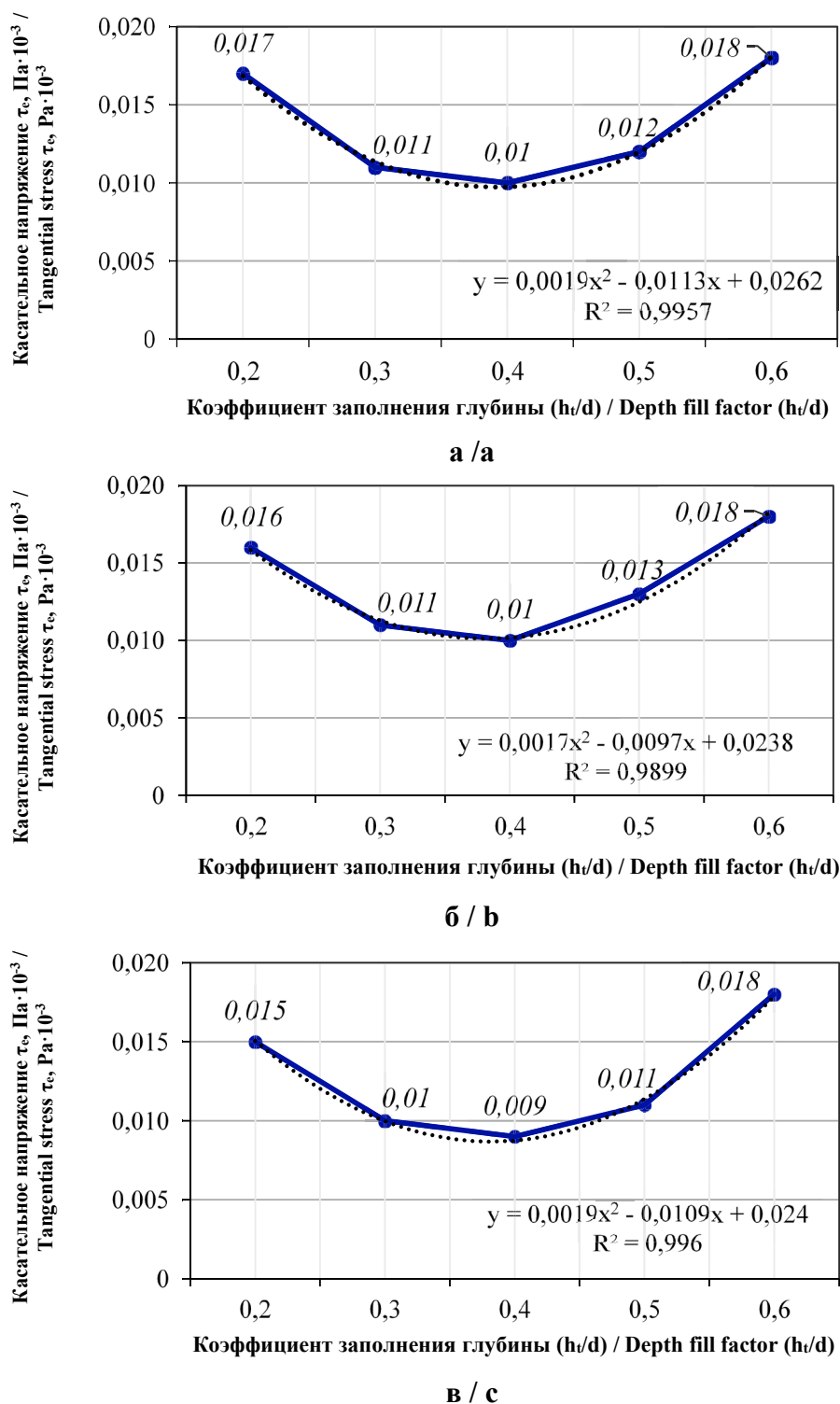


Рис. 3. Теоретическая зависимость касательного напряжения на поверхности раздела фаз на жидкость от коэффициента глубины заполнения: уклон молокопровода: а – 0,5%; б – 1,0%; в – 1,5%; d = 52 мм /

Fig. 3. Theoretical dependence of the shear stress on the milk interface upon the filling depth factor: milk pipeline slope: а – 0.5%; б – 1.0%; в – 1.5%; d = 52 mm

Анализируя зависимости рисунка 4, видно, что разные значения вакуума в системе влияют только на изменение времени впуска воздуха, а временные параметры впус-

ка воды не зависят от изменения давления в системе. Разность давления будет влиять только на скорость жидкостной пробки при движении в молокопроводе. При протяжен-

ности молокопровода более 50 метров зависимость времени впуска жидкости становится

линейной, даже при изменении диаметра трубы молокопровода.

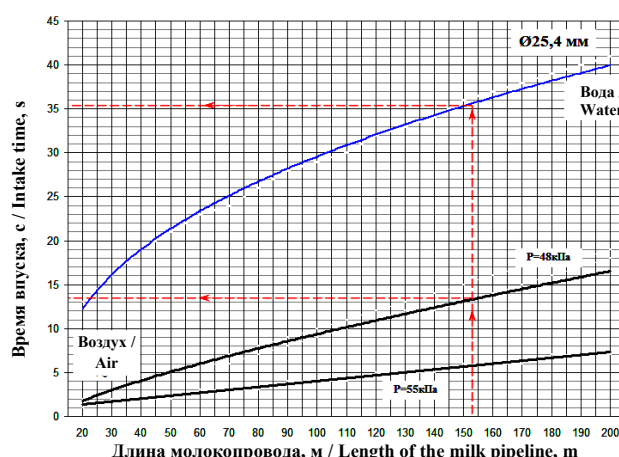
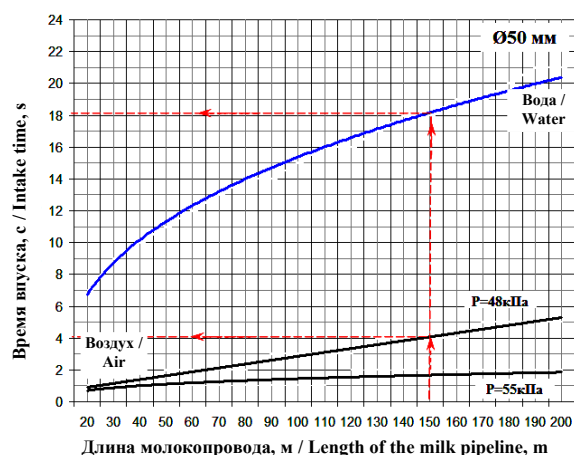


Рис. 4. Зависимости времени впуска жидкости и воздуха от длины молокопровода /
Fig. 4. Dependence of the liquid and air intake time on the length of the milk pipeline

Экспериментальные исследования движения жидкостной пробки в молокопроводе во время промывки проводили на стенде с про-

зрачным трубопроводом с помощью регистрации перепада вакуума пульсотестером фирмы Westfalia (рис. 5).

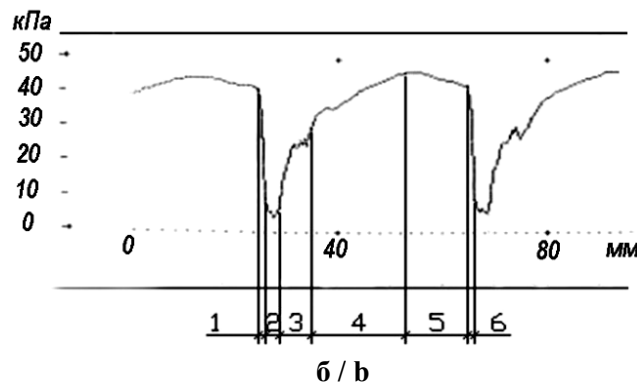
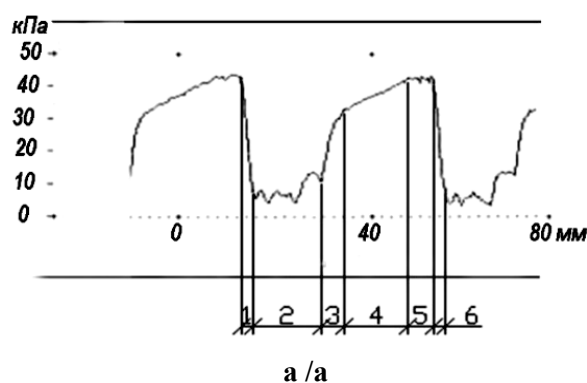


Рис. 5. График перепада давления при прохождении жидкостной и воздушной пробки: а) в начале молокопровода; б) в конце молокопровода; 1 – прохождение жидкостной пробки; 2 – интервал прохождения волнового хвоста жидкостной пробки; 3 – интервал прохождения воздушной пробки; 4 – интервал уменьшения толщины подстилающего слоя жидкости в трубопроводе; 5 – увеличение толщины подстилающего слоя жидкости в трубопроводе; 6 – прохождение жидкостной пробки /

Fig. 5. The graph of pressure drop during fluid and air slug moving: а) at the start of milk pipeline; б) at the end of milk pipeline; 1 – fluid slug moving; 2 – interval of fluid slug wave tail moving; 3 – interval of air slug moving; 4 – interval of decreasing the thickness of the underlying fluid layer in the pipeline; 5 – interval of increasing the thickness of the underlying fluid layer in the pipeline; 6 – fluid slug moving

При проведении экспериментальных исследований установили, что потеря длины жидкостной пробки для молокопровода Ø50,8 мм составляет в среднем 5 см на 1 метр пути, что подтверждает теоретические расчеты.

В настоящее время в основном на доильных установках применяются трубопроводы с внутренним диаметром 48, 63, 70 и 98 мм [5, 7], совместно с аспирантом А. В. Смирновым была написана программа для определения параметров впуска воды и воздуха в

систему во время циркуляционной промывки (рис. 6).

Для определения времени впуска жидкости сначала необходимо выбрать диаметр молокопровода, указать его длину, давление в системе, длину питательного трубопровода и диаметр всасывающей трубы. При нажатии кнопки «Расчет» в правой стороне окна появляются данные необходимого объема жидкостной пробки, время открытия и закрытия клапана впуска воды и воздуха.

The screenshot shows a software window titled "Form1" with a light green border. It contains two main sections. The left section has input fields for: "Диаметр молокопровода" (Milk line diameter) with radio buttons for 48 мм (selected), 60 мм, 73 мм, and 98 мм; "Длина молокопровода, м" (Milk line length, m) with a text box containing "120"; "Длина питательного трубопровода, м" (Feeding pipe length, m) with a text box containing "5"; "Диаметр всасывающей трубы, м" (Suction pipe diameter, m) with a text box containing "0,049"; and "Давление в системе промывки, кПа" (Washing system pressure, kPa) with a text box containing "48". Below these is a "Расчет" (Calculate) button. The right section displays calculated results: "Объем жидкостной пробки" (Liquid slug volume) 9,72 л; "Объем воздушной пробки" (Air slug volume) 20,8 л; "Общий расход жидкости" (Total liquid flow) 14,72 л; "Время впуска воздуха" (Air inlet time) 3 с; and "Время впуска жидкости" (Liquid inlet time) 20 с.

Рис. 6. Фрагмент расчета по программе для определения параметров работы клапана впуска воды и воздуха в систему во время циркуляционной промывки доильных установок /

Fig. 6. Fragment of the calculation according to the program for determining the operating parameters of the valve for the inlet of water and air into the system during circulation washing of milking installations

Выводы. На основе проведенного математического моделирования образования жидкостной пробки были построены кривые зависимости, которые позволяют в системе промывки определить время впуска воды и воздуха от длины молокопровода, уровня

вакуума и диаметра трубы молокопровода. Экспериментальные исследования подтвердили достоверность расчетов, что потеря длины жидкостной пробки для молокопровода Ø50,8 мм составляет в среднем 5 см на 1 метр пути.

Список литературы

1. Матвеев В. Ю. Меры санитарной обработки молочных линий. Вестник НГИЭИ. 2017;(3 (70)):32-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862832>
2. Костюкевич С. А. Усовершенствованная технология промывки доильно-молочного оборудования. Вестник Курской сельскохозяйственной академии. 2017;(6):35-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30114095>
3. Руденко А. Д. Технология системы промывки современного доильного оборудования. Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. научн. тр. по результатам работы IV Международ. молодежной научн.-практ. конф. Вологда: Вологодская ГМХА им. Н. В. Верещагина, 2019. С. 295-298.
4. Кравченко В. Н., Мазаев Ю. В., Панахов Д. А. Способ дезинфекции оборудования на молочных фермах и комплексах. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019; (3 (35)):118-122. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-dezinfektsii-oborudovaniya-na-molochnyh-fermah-i-kompleksah/viewer>
5. Reinemann D. J., Book J. Airflow requirements, design parameters and troubleshooting for cleaning milking systems. Proc. ASAE/NMC International Dairy Housing Conference, 31 January – 4 February, 1994, Orlando, Florida, USA. 16 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/238066575_AIRFLOW_REQUIREMENTS_DESIGN_PARAMETERS_AND_TROUBLESHOOTING_FOR_CLEANING_MILKING_SYSTEMS
6. Penry J. F., Leonardi S., Upton J., Thompson P. D., Reinemann D. J. Assessing liner performance using on-farm milk meters. J. Dairy Sci., 2016;99(8):6609-6618. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10310>
7. Gaworski M., Szlachta J., Luberański A., Drózd B., Tucki K., Krzywonos M., Wojdański J., Kupczyk A. A Slug flow model in a long milk tube for designing a milking unit control system. Journal of Animal and Plant Sciences. 2019;29(5):1238-1246. URL:

https://www.researchgate.net/publication/336653149_A_SLUG_FLOW_MODEL_IN_A_LONG_MILK_TUBE_FOR_DESIGNING_A_MILKING_UNIT_CONTROL_SYSTEM

8. Murko V., Khyamyalyainen V., Baranova M. Use of ASH-and-SLAG wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes. E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium. 2018;41(6):01042. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101042>

9. Сапожников Ф. Д., Колончук В. М., Назаров Ф. И., Борисенко А. С. Автоматизированные системы промывки молокоохладительных установок. Агропромышленный комплекс: контуры будущего: мат-лы IX Междунаро. научн.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск: Курская ГСХА им. И. И. Иванова, 2018. С. 297-299. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35615859>

10. Матвеев В. Ю., Крупин А. Е. Исследование и обоснование параметров механического устройства промывки с активными рабочими органами. Труды ГОСНИТИ. 2015;120:54-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24345814>

11. Далалеев Э. Р., Гаязиев И. Н., Зиганшин Б. Г., Дмитриев А. В., Нафиков И. Р. Эффективная система промывки молокопровода. Сельский механизатор. 2017;(6):28-29.

12. Матвеев В. Ю., Маслов М. М., Заикин В. П., Филиппов Д. В. Структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки доильных установок с молокопроводом и автоматом промывки. Аграрный научный журнал. 2020;(6):111-115. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i6pp111-115>

13. Матвеев В. Ю. Сокращение затрат на мойку молокопроводов доильных установок. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2020;(5):41-45. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-10-2005-07>

14. Филонов Р. Ф., Кравченко В. Н. Интенсификация промывки доильных аппаратов с использованием гидромеханических устройств. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020;(1(81)):113-117. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42459680>

15. Иванов Б. Л., Нафиков И. Р., Лушнов М. А., Хохмут Т. Автоматизированная система промывки доильного оборудования. Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: научн. тр. I-ой Междунаро. научн.-практ. конф. Казань: Казанский ГАУ, 2020. С. 258-263.

16. Демешко А. А. Обоснование оптимизации процесса промывки магистралей молокопровода. Актуальные вопросы развития производства пищевых продуктов: технологии, качество, экология, оборудование, менеджмент и маркетинг: мат-лы II Всерос. научн.-практ. конф. Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. С. 96-100.

References

1. Matveev V. Yu. *Mery sanitarnoy obrabotki molochnykh liniy*. [Measures of sanitizing of milk lines]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2017;(3 (70)):32-40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28862832>

2. Kostyukevich S. A. *Uovershenstvovannaya tekhnologiya promyvki doil'no-molochnogo oborudovaniya*. [Advanced technology washing milking and dairy equipment]. *Vestnik Kurskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2017;(6):35-38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30114095>

3. Rudenko A. D. *Tekhnologiya sistemy promyvki sovremennogo doil'nogo oborudovaniya*. [The technology of the washing system of modern milking equipment]. *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: sb. nauchn. tr. po rezul'tatam raboty IV Mezhdunarod. molodezhnoy nauchn.-prakt. konf.* [From young researchers of agro-industrial and forest complexes to the regions: collection of scientific works based on the results of the IV International Youth scientific and practical Conference.]. Vologda: *Vologodskaya GMKhA im. N. V. Vereshchagina*, 2019. pp. 295-298.

4. Kravchenko V. N., Mazaev Yu. V., Panakhov D. A. *Sposob dezinfektsii oborudovaniya na molochnykh fermakh i kompleksakh*. [Method of disinfection of equipment on dairy farms and complexes]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva* = Journal of VNIIMZH. 2019;(3 (35)):118-122. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-dezinfektsii-oborudovaniya-na-molochnyh-fermah-i-kompleksah/viewer>

5. Reinemann D. J., Book J. Airflow requirements, design parameters and troubleshooting for cleaning milking systems. Proc. ASAE/NMC International Dairy Housing Conference, 31 January – 4 February, 1994, Orlando, Florida, USA. 16 p. URL:

https://www.researchgate.net/publication/238066575_AIRFLOW_REQUIREMENTS_DESIGN_PARAMETERS_AND_TROUBLESHOOTING_FOR_CLEANING_MILKING_SYSTEMS

6. Penry J. F., Leonardi S., Upton J., Thompson P. D., Reinemann D. J. Assessing liner performance using on-farm milk meters. *J. Dairy Sci.*, 2016;99(8):6609-6618. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10310>

7. Gaworski M., Szlachta J., Luberański A., Dróżdż B., Tucki K., Krzywonos M., Wojdalski J., Kupeczyk A. A Slug flow model in a long milk tube for designing a milking unit control system. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2019;29(5):1238-1246. URL:

https://www.researchgate.net/publication/336653149_A_SLUG_FLOW_MODEL_IN_A_LONG_MILK_TUBE_FOR_DESIGNING_A_MILKING_UNIT_CONTROL_SYSTEM

8. Murko V., Khyamyalyainen V., Baranova M. Use of ASH-and-SLAG wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes. E3S Web of Conferences. 3rd International Innovative Mining Symposium. 2018;41(6):01042. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101042>
9. Sapozhnikov F. D., Kolonchuk V. M., Nazarov F. I., Borisenko A. S. *Avtomatizirovannye sistemy promyvki molokookhladitel'nykh ustanovok*. [Automated systems for washing milk-cooling plants]. *Agropromyshlennyy kompleks: kontury budushchego: mat-ly IX Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. [Agro-industrial complex: contours of the future: Proceedings of the IXth International scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists]. Kursk: *Kurskaya GSKhA im. I. I. Ivanova*, 2018. pp. 297-299. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35615859>
10. Matveev V. Yu., Krupin A. E. *Issledovanie i obosnovanie parametrov mekhanicheskogo ustroystva promyvki s aktivnymi rabochimi organami*. [Research and validation of the parameters of a mechanical device washing with active working bodies]. *Trudy GOSNITI*. 2015;120:54-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24345814>
11. Dalaleev E. R., Gayaziev I. N., Ziganshin B. G., Dmitriev A. V., Nafikov I. R. *Effektivnaya sistema promyvki molokoprovoda*. [Efficient milk line flushing system]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2017;(6):28-29. (In Russ.).
12. Matveev V. Yu., Maslov M. M., Zaikin V. P., Filippov D. V. *Strukturno-logicheskaya skhema funktsionirovaniya sistemy sanitarnoy obrabotki doil'nykh ustanovok s molokoprovodom i avtomatom promyvki*. [Structural-logical scheme of sanitary processing of milking machines with milk pipeline and washing machine]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2020;(6):111-115. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i6pp111-115>
13. Matveev V. Yu. *Sokrashchenie zatrat na moyku molokoprovodov doil'nykh ustanovok*. [Reduced cleaning costs]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2020;(5):41-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-10-2005-07>
14. Filonov R. F., Kravchenko V. N. *Intensifikatsiya promyvki doil'nykh apparatov s ispol'zovaniem gidromekhanicheskikh ustroystv*. [Intensification of milking machines washing out using hydraulic and mechanical devices]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;(1(81)):113-117. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42459680>
15. Ivanov B. L., Nafikov I. R., Lushnov M. A., Khokhmut T. *Avtomatizirovannaya sistema promyvki doil'nogo oborudovaniya*. [Automated milking equipment washing system]. *Nauchnoe soprovozhdenie tekhnologii agropromyshlennogo kompleksa: teoriya, praktika, innovatsii: nauchn. tr. I-oy Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf. [Scientific support of technologies of the agro-industrial complex: theory, practice, innovations: scientific works of the 1st International scientific and practical Conference]* Kazan': *Kazanskiy GAU*, 2020. pp. 258-263.
16. Demeshko A. A. *Obosnovanie optimizatsii protsessa promyvki magistralei molokoprovoda*. [Justification of optimization of the process of flushing the milk pipeline lines]. *Aktual'nye voprosy razvitiya proizvodstva pishchevykh produktov: tekhnologii, kachestvo, ekologiya, oborudovanie, menedzhment i marketing: mat-ly II Vse-ross. nauchn.-prakt. konf. [Actual issues of food production development: technologies, quality, ecology, equipment, management and marketing: Proceedings of the 2nd All-Russian scientific and practical Conference]*. Ussuriysk: *Primorskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*, 2018. pp. 96-100.

Сведения об авторе

✉ Мамедова Равза Анвяровна, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>, e-mail: rozamamedova@mail.ru

Information about author

✉ Ravza A. Mamedova, PhD in Engineering, senior researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>, e-mail: rozamamedova@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.287-296>

УДК 050:63(093) (470)

«Земледельческий журнал» и его роль в развитии сельского хозяйства России в 1821-1840 гг. (к 200-летию журнала)

© 2021. В. А. Нохрина✉

ФГБНУ «Центральная научная сельскохозяйственная библиотека»,
г. Москва, Российская Федерация

В этом году исполняется 200 лет со дня выхода «Земледельческого журнала» – первого общероссийского специализированного сельскохозяйственного журнала, учредителем которого было Императорское Московское общество сельского хозяйства. В статье на основе метода библиометрического анализа содержания показана его роль в истории сельского хозяйства и сельскохозяйственной печати России. На основе полученных данных установлено, что в журнале опубликовано более 1200 статей. Определена типология статей журнала, соотношение количества публикаций, из которых 38 % составляли материалы по обмену опытом, обзоры (22 %), экономико-статистические материалы (10 %), оригинальные статьи (8 %), переводные статьи (5 %), рецензии о новых книгах по сельскому хозяйству (17 %). Основные темы публикаций: общие вопросы сельского хозяйства (30 %); растениеводство (25 %); животноводство (27 %); земледелие (10 %); садоводство (8 %). Журнал активно пропагандировал новые системы земледелия, способствовал развитию таких отраслей сельского хозяйства, как свеклосахарное производство, овцеводство, пчеловодство, шелководство. Из 375 авторов, опубликовавших свои статьи в журнале, 73 % составляли землевладельцы, 19 % профессора и преподаватели, 11 % управляющие имениями, 6 % специалисты сельского хозяйства. Среди известных авторов журнала можно отметить Н. П. Шишкова, И. В. Сабурова, А. Ф. Реброва, А. С. Маслова, П. И. Прокоповича и других. «Земледельческий журнал» заложил основные принципы для формирования сельскохозяйственной периодики. Впервые в истории была предпринята попытка через журнал объединить прогрессивных ученых и землевладельцев в определении путей развития аграрного сектора страны, в массовом распространении сельскохозяйственных знаний среди населения, зарождении сельскохозяйственной науки и образования. «Земледельческий журнал» – ценный источник для изучения аграрной истории России начала XIX века.

Ключевые слова: сельскохозяйственные журналы XIX века, Московское общество сельского хозяйства, аграрная история, библиометрический анализ, издательская деятельность

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Нохрина В. А. «Земледельческий журнал» и его роль в развитии сельского хозяйства России в 1821-1840 гг. (к 200-летию журнала). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):287-296. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.287-296>

Поступила: 29.03.2021

Принята к публикации: 15.04.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

«Farming journal» and its role in the development of agriculture of Russia in 1821-1840 (to the 200-th anniversary of the journal)

© 2021. Valentina I. Nokhrina✉

Central Scientific Agricultural Library, Moscow, Russian Federation

This year «The Farming Journal» [Zemledelchesky zhurnal] celebrates the 200th anniversary from the date of the first issue. This is the first All-Russian specialized agricultural journal, which was established by the Imperial Moscow Agricultural Society. On the basis of the method of biometric analysis of the content the article shows the significance of the journal in the history of agriculture and agricultural press in Russia. It had been estimated that over 1200 articles have been published in the journal. There was determined the typology of articles of the journal, the ratio of the number of publications of which 38 % were sharing experiences materials, surveys (22 %), economic statistical materials (10 %), original articles (8 %), translated articles (5 %), reviews of new agricultural books (17 %). The main publication subjects were general problems of agriculture (30 %), plant production (25 %), animal husbandry (27 %), farming (10 %), and horticulture (8 %). The journal actively propagated new farming systems, promoted developing such agricultural industries as beet sugar production, sheep breeding, bee keeping, and sericulture. Of 375 authors who published their articles in the journal, 73 % were landowners, 19 % professor and teaching staff, 11 % estate managers, 6 % agricultural specialists. Among well-known authors of the journal it is worth to name N. P. Shishkov, I. V. Saburov, A. F. Rebrov, A. S. Maslov, P. I. Prokopovich and others. «The Farming Journal» laid down the basic principles for developing agricultural periodicals. For the first time in history an attempt was made to unite progressive scientists and landowners by means of the journal in order to determine the ways of developing the agrarian sector of the country, to distribute agricultural knowledge among the population, to generate agricultural science and education. The «Farming Journal» is a valuable source for studying the agrarian history of Russia of the beginning of the XIX century.

Key words: agricultural journals of the XIX century, Moscow Society of Agriculture, agrarian history, bibliometric analysis, publishing activity

Acknowledgments: the work was done without financial support within the framework of the initiative topics.

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

For citations: Nokhrina V. I. «Farming journal» and its role in development of agriculture of Russia in 1821-1840 (to the 200-th anniversary of the journal). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021; 22(2):287-296. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.287-296>

Received: 23.03.2021

Accepted for publication: 15.04.2021

Published online: 19.04.2021

Процессы, возникающие в сельскохозяйственной жизни России в 20-30-е годы XIX столетия, увеличение внутреннего и внешнего товарооборота, экспорт зерна и повышение цен открывали широкие возможности для дальнейшего развития сельского хозяйства, что способствовало формированию определенной общественной потребности в сельскохозяйственной литературе. Одним из первых сельскохозяйственных журналов России был «Труды Императорского Вольного экономического общества к поощрению в России земледелия и домостроительства», выходивший в Санкт-Петербурге с 1765 года. На его страницах, кроме общих экономических и научных вопросов, освещались и темы экономического устройства сельского хозяйства. Но в 1820 году ВЭО прекращает выпуск «Трудов» из-за недостатка финансирования, возобновив их издание в 1841 году [1].

В 1821 году начал выходить «Земледельческий журнал» Императорского Московского общества сельского хозяйства (МОСХ) (1820-1930 гг.). Роль и значение этого издания просматривается на общем фоне состояния сельскохозяйственной периодики в дореформенной России. С 1821 по 1861 год в России выходило 29 сельскохозяйственных журналов. Причем большая часть их начала издаваться уже в 40-е годы, период издания не превышал 1-3-х лет, за исключением «Журнала садоводства» (1838-1859) и «Записок Лебединского общества сельского хозяйства» (1847-1866). Таким образом, «Земледельческий журнал» почти в течение 20 лет был единственным специализированным сельскохозяйственным журналом в дореформенной России [2].

Учредителем «Земледельческого журнала» выступило Императорское Московское общество сельского хозяйства, которое и финансировало издание [3]. В состав редакции входили известные общественные деятели и члены Общества А. А. Прокопович-Антонский, С. И. Гагарин, А. С. Меньшиков, М. Г. Павлов [4]. Главным редактором журнала был назначен один из основателей и многолетний секретарь МОСХ, известный

агроном, профессор Московского университета С. А. Маслов (1793-1879).

Редакция определила основные критерии журнала: «издание должно быть существенно полезным для хозяйства, занимательно для читателей как практиков, так и теоретиков сельского хозяйства, а также просто любителей чтения» [5]. В соответствии с этим структура журнала была разделена на научную и практическую части. Решено было издавать журнал «повременно», по мере накопления материала и формирования авторского коллектива. Первое десятилетие журнал выходил по три номера в год и состоял из четырех отделов: оригинальные статьи по земледелию и общим вопросам сельского хозяйства; опыты и наблюдения; выписки из иностранных журналов; переписка Общества. С 1831 по 1840 год количество выпусков постепенно увеличивается до шести, объем каждого выпуска журнала составлял 9-10 печатных листов, формат издания книжный. При группировке материала применен отраслевой принцип: первое отделение включало статьи по земледелию и общим вопросам сельского хозяйства; второе – сельская промышленность (сахароварение, приготовление картофельной патоки, пчеловодство, шелководство, разведение американского табака и проч.); третье отделение включало библиографические материалы по сельскому хозяйству; в последнем разделе «Смесь» помещались рекламные и информационные материалы.

Главный принцип – это качество публикуемых материалов. С. А. Маслов полагал, что в «Земледельческом журнале» должны помещаться статьи, требующие не столько беглого чтения, удовлетворяющего любопытству, сколько внимательного сообщения о пользе предлагаемых мнений и опытов...» [6, с. 4]. Имея богатый материал о состоянии сельского хозяйства России, редакция предлагала читателям обзорные статьи, например, «Исторический взгляд на свеклосахарную промышленность в России», «Обозрение состояния шерстяной промышленности», «Взгляд на будущность тонкорунного овцеводства в России» и другие.

Публикуемые материалы были ценными источниками для изучения экономики сельского хозяйства России в начале XIX века. Вместе с тем, в отечественной историографии недостаточно работ по комплексному анализу содержания «Земледельческого журнала» в контексте аграрного и социокультурного развития дореформенной России. Из последних исследований можно отметить статью С. А. Козлова, в которой предпринята попытка рассмотреть содержание «Земледельческого журнала» на отдельных примерах наиболее интересных, с точки зрения историка, работ известных землевладельцев и сделать вывод, что «материалы «Земледельческого журнала» содержат ценнейшие сведения, касающиеся ключевых проблем аграрной истории России первой половины XIX в.» [7, с. 329].

Цель исследования – анализ «Земледельческого журнала», который с 1821 по 1840 год был единственным в России специализированным сельскохозяйственным журналом общероссийского значения, заложившим основы будущей сельскохозяйственной печати России, и как одного из основных источников по аграрной истории начала XIX века для использования в информационном обеспечении научных исследований.

Материал и методы. Изучение содержания «Земледельческого журнала», хранящегося в фонде ФГБНУ ЦНСХБ на основе метода библиометрического анализа.

Результаты и их обсуждение. Полное представление о журнале, его роли в решении тех или иных социально-экономических задач, значении как источника для изучения аграрной истории дает анализ его содержания. В «Земледельческом журнале» публиковались статьи и другие материалы фактически по всем вопросам сельского хозяйства. Всего с 1821 по 1840 год было опубликовано около 1200 статей, включая библиографические материалы (без учета протоколов собраний и заседаний, отчетов о деятельности МОСХ и его комитетов, мелких заметок и сообщений, различного рода объявлений и т. п. материалов). Если рассматривать изменение общего количества оригинальных статей в журнале по основным направлениям сельскохозяйственной отрасли по пятилетиям, то наблюдается определенная цикличность их изменений, характерной особенно-

стью которой является то, что каждый последующий экстремум не меньше предыдущего, т. е. наблюдается относительный рост статей от начала временного интервала. Первые 15 лет издания журнала отличались относительной стабильностью, качеством публикуемых материалов. Несмотря на то, что в 1826-1833 гг. журнал выходил уже по четыре выпуска в год, количество статей не возросло по отношению к первому пятилетию. И это объясняется не отсутствием материала, а принципами его качественного отбора, с одной стороны, и резкого снижения статей по теме «животноводство» (в связи с выходом в 1833 году «Журнала для овцеводов»). С 1836 по 1840 год количество выпусков увеличилось до шести, объем «Земледельческого журнала» увеличился почти вдвое (303 статьи), причем количество статей возросло практически по всем темам. Но основной прирост был в разделах пчеловодства, шелководства, овцеводства, больше стало материалов по обмену опытом, обзорных статей и т. п. В эти годы у «Земледельческого журнала» фактически не было конкурентов. Коммерческая сторона мало заботила редактора журнала С. А. Маслова, так как МОСХ охотно субсидировало свой журнал, отводя ему особую роль в деле распространения сельскохозяйственных знаний (рис. 1).

По своему содержанию «Земледельческий журнал» был производственным. Журнал, в первую очередь, предлагал читателю публикации, которые могли бы помочь землевладельцам получать прибыль от хозяйственной деятельности на земле. Вторая задача журнала заключалась в пропаганде новых отраслей, которые также могли улучшить экономические показатели как отдельных производителей, так и экономику страны в целом. Изучение содержания журнала позволило выделить несколько основных групп статей. Необходимо отметить, что такая группировка все же имеет относительно условный характер, так как достаточно сложно оценить материалы начала XIX века, используя современную типологию. Тем не менее полученные результаты показывают, что более трети (38 %) статей в журнале это публикации по обмену опытом, различные советы, наблюдения и т. п., представляющие собственный опыт землевладельцев в конкретных областях сельского хозяйства.

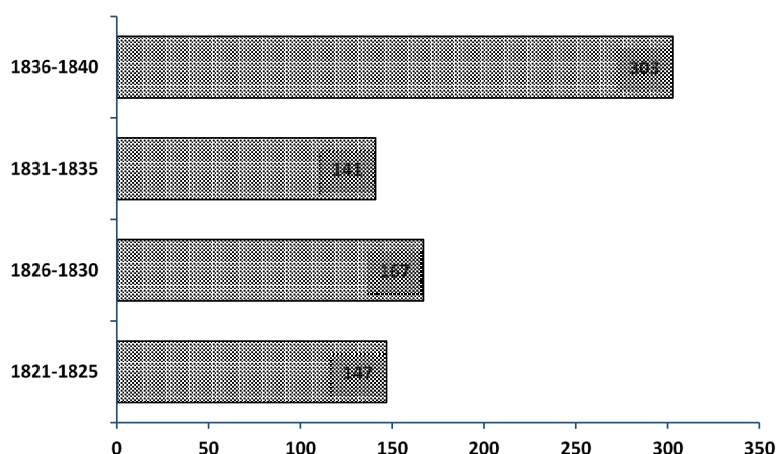


Рис. 1. Распределение количества статей в «Земледельческом журнале» с 1821 по 1840 г. /

Fig. 1. Distribution of the number of articles from «Farming journal» 1821 to 1840

Значительную часть в журнале занимали работы «обзорного характера» (22 %): обзоры, очерки современного состояния сельского хозяйства в целом и отдельных его отраслей, материалы по истории сельского хозяйства, об известных отечественных и иностранных агрономах, о проблемах сельскохозяйственного образования, материалы выставок, съездов, конкурсов и т. п. Основная задача журнала заключалась в необходимости «убедить многих и весьма многих, что сельское хозяйство есть не только навык и искусство, но и наука...» [8, с. 534]. Для этой цели специально предназначался первый раздел журнала, в котором печатались оригинальные и переводные статьи научного содержания по сельскому хозяйству (8 %). Эти данные еще раз подтверждают тезис о том, что в начале XIX века аграрная наука находилась в первоначальной стадии своего формирования и научных статей было крайне мало.

Ценная часть журнала – экономико-статистические материалы (10 %). Статисти-

ческие отчеты землевладельцев о состоянии своих имений, описания уездов и губерний, причем многие из них печатались систематически из номера в номер. Эти материалы давали возможность проследить историю сельскохозяйственного предпринимательства в дореформенный период и уровень развития сельского хозяйства различных регионов. Количество статей о передовом зарубежном опыте (5 %) показывали, что «Земледельческий журнал», в первую очередь, занимался пропагандой отечественного передового опыта, и ему не свойственно было механическое перепечатывание статей из иностранных источников. Этот тезис подтверждает и количество публикаций (17 %) в разделе библиография, где представлена информация о книгах по сельскому хозяйству этого периода, подробных рецензиях на них, библиографические обзоры периодической печати. Фактически этот раздел журнала заложил основы сельскохозяйственной библиографии (рис. 2).

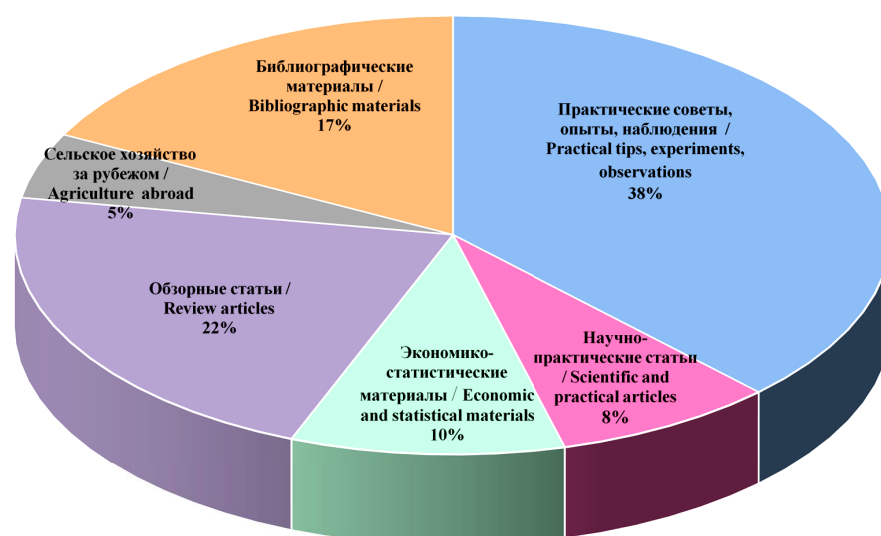


Рис. 2. Распределение количества статей по основным группам «Земледельческого журнала» /

Fig. 2. Distribution of the number of articles by main groups of the «Farming journal»

Анализ тематической направленности журнала (по современной классификации) выявил несколько основных тем: общие вопросы сельского хозяйства, растениеводство, животноводство, земледелие, садоводство. По этим темам выявлено 758 оригинальных статей. Материалы по общим вопросам сельского хозяйства составляли около 30 %. Это руководства по ведению хозяйств, статьи по сельскохозяйственному образованию, эко-

номико-статистические обзоры, материалы по опытным станциям и другим сельскохозяйственным учреждениям, статьи о научных и практических достижениях в зарубежном сельском хозяйстве. Публикации по основным отраслям сельского хозяйства – животноводству (27,31 %) и растениеводству (25,33 %) занимали половину содержания журнала. Примерно в равных соотношениях земледелие – (9,63 %) и садоводство (8,05 %) (рис. 3).

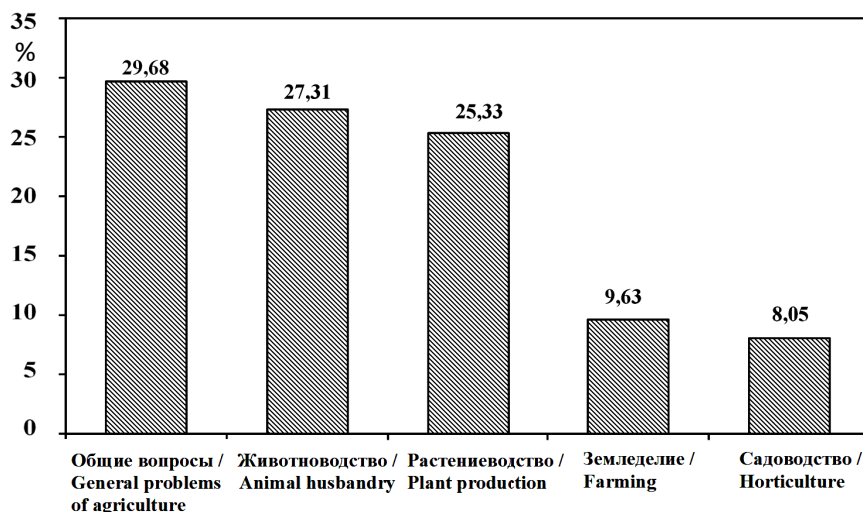


Рис. 3. Соотношение статей по основным темам «Земледельческого журнала» /
 Fig. 3. The ratio of articles on the main topics of the «Farming journal»

Развитие отечественного земледелия прогрессивные общественные силы связывали с вопросами «рационализации» помещичьего хозяйства, с внедрением механизации новых систем земледелия, распространением новых культур: картофеля, сахарной свеклы, подсолнечника, развитием перерабатывающих отраслей. Известный русский учёный, профессор кафедры сельского хозяйства Санкт-Петербургского университета А. В. Советов (1826-1901) так оценил роль журнала в распространении травосеяния в России: «С открытием в 1820 году в Москве Общества сельского хозяйства, травосеяние делалось более и более известным». «Земледельческий журнал», издававшийся Обществом, также очень много помог водвориться в России травосеянию..., так, что в тридцатых годах травосеяние в России перестало быть редкостью» [9, с. 31-32]. Основное содержание журнала занимали статьи о выращивании отдельных культур, расширении посевных площадей под зерновые и зернобобовые культуры, картофель, табак, лен, сахарную свеклу, кормовые травы. Наибольшее количество публикаций выявлено по

зерновым и зернобобовым культурам – 58 %, которые в структуре посевных площадей занимали основное место. Но уже началось внедрение и других, технических культур, 18 % статей в журнале посвящено этим вопросам, активно печатались и статьи о выращивании картофеля – 10 %, по травосеянию – 9 %, свекловодству – 5 %. По агрохимии опубликовано 25 статей, так как применение удобрений увеличивало урожайность при минимальных затратах, и эти темы вызвали определенный интерес землевладельцев (рис. 4).

Ярким примером влияния журнала на формирование новых отраслей было создание в России свеклосахарного производства в первой половине XIX века. Анализ содержания журнала показывает все этапы становления свеклосахарной промышленности в первой половине XIX века. Уже в 1822 году в «Земледельческом журнале» появилась статья одного из первых русских сахароваров И. А. Мальцова (1774-1853) «О выгодах разведения свекловицы и выделения из оной сахарного песка». Автор предсказывал, что в будущем свеклосахарная промышленность полностью удовлетворит потребность страны в сахаре.

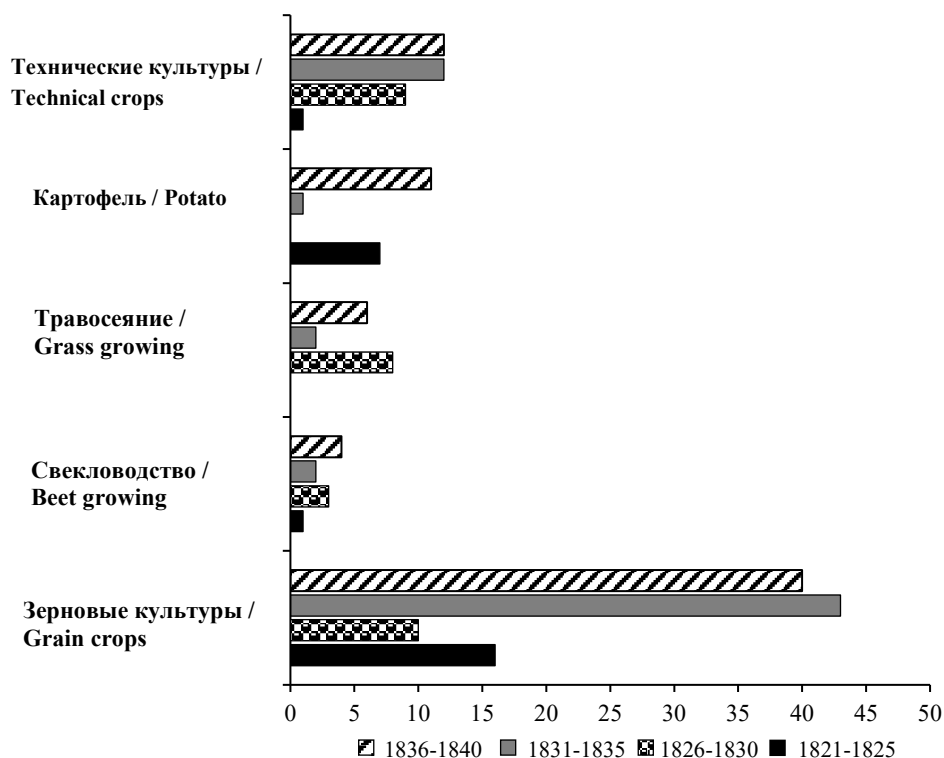


Рис. 4. Распределение статей по теме растениеводство в «Земледельческом журнале», ед. /
Fig. 4. Distribution of articles on the topic of crop production of the «Farming journal», units

В 1833 году, по предложению С. А. Маслова, был создан Комитет сахароваров. На начальном этапе развития отрасли именно «Земледельческий журнал» собрал и сплотил вокруг себя не только известных сахароваров России, но и всех желающих открыть собственные заводы по переработке сахарной свеклы. С 1834 по 1839 год выходили отдельными выпусками «Записки Комитета сахароваров». Читатели «Земледельческого журнала» получали их бесплатно как приложение к журналу. За шесть лет в «Записках» было напечатано более 60 статей 26 авторов по вопросам сахароварения и возделывания свеклы. Эти издания были первыми настольными руководствами при организации и эксплуатации свеклосахарных заводов. Современники высоко оценивали роль и значение «Земледельческого журнала», вокруг которого группировались сахарозаводчики. На страницах журнала формировалось общее мнение деятелей свеклосахарной промышленности, вырабатывалась единая линия поведения в тех или иных вопросах: «... одно утешение... читать с восхищением прекрасный журнал нашего Общества, за который оному и Вам в особенности, как издателю, все мы и потомство есть и будем весьма

признательны» [10, с. 51]. Многие землевладельцы, благодаря возможности обмениваться информацией, занялись организацией заводов под влиянием статей из «Земледельческого журнала» и его приложения «Записок Комитета сахароваров». Один из известных сахароваров своего времени Н. П. Шишков (1779-1869), передовой сельский хозяин, председатель Комитета сахароваров опубликовал в журнале 49 статей. Его работы «Исторический образ свеклосахарного производства в России», «Свеклосахарное производство в России», «Опыт учета работ при свеклосахарном производстве» и другие показали, что он прекрасно понимал экономическое значение свеклосахарной промышленности.

«Земледельческий журнал» в определенной мере отражал уровень развития животноводства в России в первой половине XIX века. Эта отрасль сельского хозяйства еще только пыталась перейти на научную основу, сам термин «животноводство» появился только в 30-е годы. Анализ содержания журнала показывал, что в начале XIX века количество публикаций по всем основным отраслям животноводства распределялось в целом достаточно неравномерно (рис. 5).

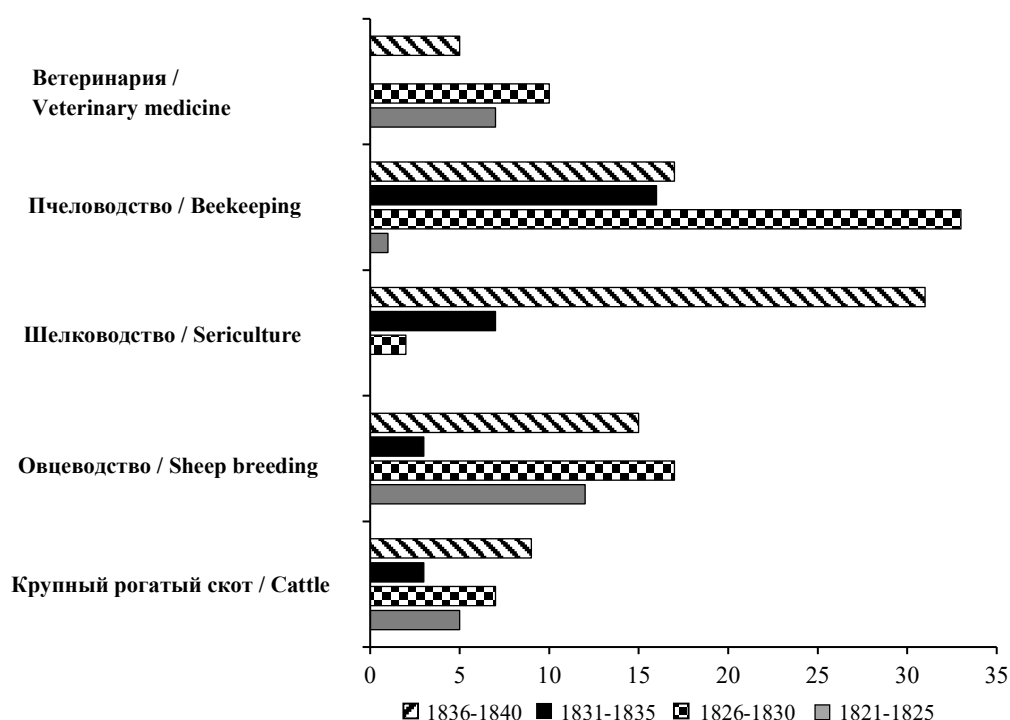


Рис. 5. Распределение статей по теме животноводство в «Земледельческом журнале», ед. /
Fig. 5. Distribution of articles on the topic of animal husbandry of the «Farming journal», units

С 1821 по 1833 год журнал активно пропагандировал мало развитую в России отрасль – овцеводство. Наибольшее количество статей по этой теме сосредоточено в «Земледельческом журнале» и его продолжениях. Это были основные издания, где печатались работы по вопросам овцеводства [11].

Именно поэтому количество помещенных в них статей являлось своеобразным отражением отношения представителей различных слоев русского общества и, прежде всего помещиков, заинтересованных в производстве шерсти, к вопросам развития тонкорунного овцеводства в России. В «Земледельческом журнале» за 20 лет опубликовано 47 статей по овцеводству. Фактически не было таких вопросов, на которые овцеводы не могли найти ответа в журнале. В 1833 году по инициативе С. А. Маслова был создан первый в России специализированный журнал «Журнал для овцеводов», в котором отражались материалы о современном состоянии тонкорунного овцеводства в России и Европе; описание лучших отечественных и зарубежных овчарен; практические статьи относительно классификации стад, выбора племенных баранов, статьи по вопросам селекции, содержания и улучшения тонкорунных овец; описания важнейших болезней овец с указанием средств для

их лечения, правила оспопрививания, мойки, стрижки овец; исследования о качествах шерсти и способах ее улучшения. Много места в журнале уделялось проблемам шерстяной торговли в России и за границей. Овцеводы высказывали через журнал свои суждения о неправильной постановке этого дела в России и предлагали различные способы решения данной проблемы. Журнал постоянно печатал не только информационные сообщения о важнейших шерстяных ярмарках и ценах на шерсть, но и давал подробные отчеты о ходе проведения таких ярмарок. Ценными материалами для изучения истории отечественного овцеводства являлись статьи известных овцеводов. Например, одним из влиятельных овцеводов первой половины XIX века пензенский помещик, известный хозяин-практик И. В. Сабуров (1788-1873) опубликовал в журнале 16 статей. В 1824 году публикует свою первую статью «О выгодах овцеводства в сравнении с другими скотоводствами», где утверждает, что все климатические зоны страны выгодны для разведения тонкошерстных овец.

Журнал привлекал внимание землевладельцев и к такой отрасли, как шелководство, с 1836 по 1840 год в журнале напечатано 40 статей. «Земледельческий журнал» являл-

ся основным источником по изучению творческого наследия основателя русского шелководства А. Ф. Реброва (1776-1862). МОСХ избрало его почетным членом и считало «первым шелководом России». А. Ф. Ребров занимался шелководством с 1818 года, был страстным энтузиастом своего дела и достиг высокого совершенства в технике изготовления шелка. В течение многих лет А. Ф. Ребров присылал в журнал отчеты по своему хозяйству.

В «Земледельческом журнале» опубликовано 67 работ по пчеловодству, из которых 39 принадлежали одному из основателей этой отрасли П. И. Прокоповичу (1775-1850). В течение 20 лет он ежегодно присылал отчеты в редакцию о своей деятельности. В статьях «О пчелах», «Об управлении пчелином», «О вреде умерщвления пчел для пчеловодства в России», «Политико-экономический взгляд на пчеловодство в России» и многих других изложена целая программа по развитию этой отрасли сельского хозяйства. П. И. Прокопович пытался выразить свой взгляд на пчеловодство как науку, поставить его на промышленную основу. Он изучил всю литературу по пчеловодству (русскую и иностранную), но «во всех этих книгах ничего более не нашел... ни одно сочинение не могло представить деятельного руководства к пчеловодству. Моих открытий по сей части, на которых основывается наука, о пчелах во всех этих сочинениях решительно нет» [12, с. 403].

Успех «Земледельческого журнала» заключался не только в его содержании, но и выбранной редакцией определенной издательской политике. Журнал привлекал в число своих авторов наиболее известных деятелей в области сельского хозяйства того времени как представителей чистой науки, так и практиков. Из 375 авторов, опубликовавших свои статьи в журнале, 73 % составляли землевладельцы, 6 % специалисты сельского хозяйства, 19 % профессора и преподаватели, 11 % управляющие имениями. Большинство авторов поместили в журнале 1-3 статьи, как правило, касающиеся их личного опыта в хозяйстве или же его подробное описание. Основное ядро постоянных авторов журнала (около 30 человек) составляли наиболее передовые землевладельцы, достаточно обра-

зованные, на деле заинтересованные в улучшении сельского хозяйства России. Многие из них являлись признанными авторитетами в этой области. Их статьи написаны с глубоким знанием предмета, порой не бесспорные, но отличающиеся искренним желанием повлиять на состояние многих вопросов хозяйственной жизни того времени. Позиция, которую занимал «Земледельческий журнал» как в общих, так и специальных сельскохозяйственных вопросах общественной жизни в 20-40-х годах XIX века, обусловила его популярность. Первое десятилетие прибыль журнала составила 17906 рублей [13, с. 32]. Издавая журнал, С. А. Маслов постоянно учитывал условия, в которых развивалось сельское хозяйство, меняя его программу, периодичность, отбор материала. Для того чтобы читатели лучше ориентировались в содержании журнала, печатались «Оглавления» за пять лет, цена за полный пятилетний комплект журнала была снижена с 65 до 25 рублей. Кроме того, всякому, кто подписывался на полный комплект журнала 1830-1835 гг., бесплатно выдавались «Записки Комитета сахароваров». В журнале было много рисунков, чертежей и печатался он на хорошей бумаге. Тиражи журнала иногда превышали тысячу экземпляров. Для специального журнала того времени это был безусловный успех.

Заключение. Общественная инициатива по изданию специализированного журнала привлекала внимание многих заинтересованных лиц – как отечественных землевладельцев, так и зарубежных аграриев к вопросам развития сельского хозяйства России. Увеличение численности привлеченных специалистов позволяло обсуждать самые оригинальные для того времени темы. Опыт издания «Земледельческого журнала» показывает, что «неудачи возможны в любом деле, но наиболее успешными будут те проекты, в которых объединяются интересы и усилия государства, общества и каждого отдельного человека» [14, с. 33]. Анализ его содержания доказывает, что «Земледельческий журнал» является бесценным источником истории зарождения аграрной экономики и науки. В дореформенный период «Земледельческий журнал» был фактически единственным массовым средством коммуникации, дающим возможность сельскохозяйственным предпри-

нимателям быть в курсе основных достижений аграрной науки и практики. Он заложил основы для будущей сельскохозяйственной периодики и является примером успешного ведения издательского дела, основные условия которым следовал журнал – подбор постоянных авторов, имеющих авторитет в научной и практической деятельности, тщательный отбор материалов, ценовая политика, информационная политика, оформление журнала, доступ и т. п. Вольное экономическое общество высоко оценило как сам журнал, так и его редактора А. С. Маслова, приняв его в почетные чле-

ны. По оценке Общества, многие из его статей, помещенных в «Земледельческом журнале», в свое время имели важное значение для русского сельского хозяйства [15]. Журналы по-прежнему являются оперативным средством обмена информацией, как и 200 лет назад, так и в современном информационном пространстве. В целях сохранения культурного наследия и доступа как можно большего количества пользователей к этому изданию перед ФГБНУ ЦНСХБ стоит задача оцифровки «Земледельческого журнала» и внесения в «Реестр книжных памятников Российской Федерации».

Список литературы

1. Мертваго А. П. К 150-летию сельскохозяйственной прессы в России. Труды МОСХ. 1916;61:19-26.
2. Лисовский Н. М. Библиография русской периодической печати 1703-1900 гг. Петроград, 1915. 1067 с.
3. Нохрина В. А. Издания МОСХ как источник по истории развития аграрной мысли в России (к 200-летию Общества 1820-1930 гг.). International Agricultural Journal. 2020;(3):65-75. DOI: <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10183>
4. Центральный государственный исторический архив г. Москвы. Ф.419, оп.1, д.98, л.3.
5. Центральный государственный исторический архив г. Москвы. Ф.419, оп.1, д.11, л.16-20.
6. Маслов С. А. Об издании «Земледельческого журнала». Земледельческий журнал. 1835;1:4.
7. Козлов С. А. «Земледельческий журнал» (1821-1840) как источник по аграрной истории дореформенной России. Исследования по источниковедению истории России (до 1917 г.): сб. статей к 80-летию члена-корреспондента РАН В. И. Буганова. М.: изд-во «Политическая энциклопедия», 2012. С. 329-343.
8. Маслов С. А. О программе издания «Земледельческого журнала». Земледельческий журнал. 1832;8:534.
9. Советов А. В. О разведении кормовых трав на полях. Избранные сочинения. М., 1950. С. 31-32.
10. Македонский М. О возделывании свекловицы. Записки I Комитета Сахароваров. М., 1834. С. 51.
11. Климова С. В. Журнальная литература как источник по истории тонкорунного овцеводства в России в первой половине XIX века. Проблемы источниковедения. 1961;(9):56-91.
12. Прокопович П. И. Политико-экономический взгляд на пчеловодство в России. Земледельческий журнал. 1839;47:403.
13. Горбунов Н. И. Историческое обозрение действий и трудов МОСХ за 2-е десятилетие. М., 1870. 229 с.
14. Минеева Н. Н. МОСХ и сельскохозяйственное образование в России. Историческое наследие Московского общества сельского хозяйства и модернизация аграрного сектора России. М.: ВИАПИ им. А. А. Никонова, 2020. С. 32-35. Режим доступа: <http://www.viapi.ru/download/2020/MOSX-2020.pdf>
15. Нохрина В. А. Оценка трудов Московского общества сельского хозяйства Вольным экономическим обществом в XIX веке. Научные труды Вольного экономического общества. 2020;226(6):168-186. DOI: <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2020-226-6-168-186>

References

1. Mertvago A. P. *K 150-letiyu sel'skokhozyaystvennoy pressy v Rossii*. [To mark the 150th anniversary of the Agricultural press in Russia]. *Trudy MOSKh*. 1916;61:19-26. (In Russ.).
2. Lisovskiy N. M. *Bibliografiya russkoy periodicheskoy pechati 1703-1900 gg.* [Bibliography of the Russian Periodical Press 1703-1900]. Petrograd, 1915. 1067 p.
3. Nokhrina V. A. *Izdaniya MOSKh kak istochnik po istorii razvitiya agrarnoy mysli v Rossii (k 200-letiyu Obshchestva 1820-1930 gg.)*. [Publications of the Moscow society of agriculture as a source on the history of development of agricultural thought in Russia (to the 200th Anniversary of the society 1820-1930)]. International Agricultural Journal. 2020;(3):65-75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10183>
4. Tsentral'nyy gosudarstvennyy istoricheskiy arkhiv g. Moskvy. [Central State Historical Archive of Moscow] F.419, op.1, d.98, l.3.

5. Tsentral'nyy gosudarstvennyy istoricheskiy arkhiv g. Moskvy. [Central State Historical Archive of Moscow]. F.419, op.1, d.11, l.16-20.

6. Maslov S. A. *Ob izdanii «Zemledel'cheskogo zhurnala»*. [On the publication of the «Agricultural Journal»]. *Zemledel'cheskiy zhurnal*. 1835;1:4. (In Russ.).

7. Kozlov S. A. «*Zemledel'cheskiy zhurnal*» (1821–1840) *kak istochnik po agrarnoy istorii doreformennoy Rossii*. [«Agricultural Journal» (1821-1840) as a source on the agrarian history of pre-reform Russia]. *Issledovaniya po istochnikovedeniyu istorii Rossii (do 1917 g.): sb. statey k 80-letiyu chlena-korrespondenta RAN V. I. Buganova*. [Research on the Source Study of the History of Russia (before 1917): collection of articles on the 80th anniversary of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences V. I. Buganov]. Moscow: *izd-vo «Politicheskaya entsiklopediya»*, 2012. pp. 329-343.

8. Maslov S. A. *O programme izdaniya «Zemledel'cheskogo zhurnala»*. [On the publication program of the «Agricultural Journal»]. *Zemledel'cheskiy zhurnal*. 1832;8:534. (In Russ.).

9. Sovetov A. V. *O razvedenii kormovykh trav na polyakh. Izbrannye sochineniya*. [On the cultivation of forage grasses in the fields. Selected works]. Moscow, 1950. pp. 31-32.

10. Makedonskiy M. *O vozdeleyvanii sveklovitsy. Zapiski I Komiteta Sakharovarov*. [On the cultivation of beet-root. Notes of the I Committee of Sugar Producers]. Moscow, 1834. p. 51.

11. Klimova S. V. *Zhurnal'naya literatura kak istochnik po istorii tonkorunnogo ovtsevodstva v Rossii v pervoy polovine XIX veka*. [Journal literature as a source on the history of fine-wool sheep breeding in Russia in the first half of the XIX century]. *Problemy istochnikovedeniya*. 1961;9:56-91. (In Russ.).

12. Prokopovich P. I. *Politiko-ekonomicheskiy vzglyad na pchelovodstvo v Rossii*. [Political and economic view on beekeeping in Russia]. *Zemledel'cheskiy zhurnal*. 1839;47:403. (In Russ.).

13. Gorbunov N. I. *Istoricheskoe obozrenie deystviy i trudov MOSKh za 2-e dvadtsatiletie*. [Historical review of the actions and works of the MOSH for the 2nd twentieth anniversary]. Moscow, 1870. 229 p.

14. Mineeva N. N. *MOSKh i sel'skokhozyaystvennoe obrazovanie v Rossii*. [MOSH and agricultural education in Russia]. *Istoricheskoe nasledie Moskovskogo obshchestva sel'skogo khozyaystva i modernizatsiya agrarnogo sektora Rossii*. [Historical legacy of the Moscow Society of Agriculture and Modernization of the Russian Agricultural Sector]. Moscow: *VIAPi im. A. A. Nikonova*, 2020. pp. 32-35.

URL: <http://www.viapi.ru/download/2020/MOCX-2020.pdf>

15. Nokhrina V. A. *Otsenka trudov Moskovskogo obshchestva sel'skogo khozyaystva Vol'nym ekonomicheskim obshchestvom v XIX veke*. [The evaluation of proceedings of Moscow agricultural society by the free economic society in the 19th century]. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva* = The Scientific works of the Free Economic Society of Russia. 2020;226(6):168-186. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2020-226-6-168-186>

Сведения об авторе

✉ **Нохрина Валентина Алексеевна**, кандидат истор. наук, заслуженный работник культуры РФ, зав. отделом ФГБНУ «Центральная научная сельскохозяйственная библиотека», Орликов пер., д. 3Б, г. Москва, Российская Федерация, 141071, e-mail: nva@cnsnb.ru

Information about the author

✉ **Valentina I. Nokhrina**, PhD in History, Honoured Worker of Culture of the Russian Federation, Head of the Department of Central Scientific Agricultural Library, Orlikov st., 3B, Moscow, Russian Federation, 141071, e-mail: nva@cnsnb.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

