

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 21
№ 2
2020

Vol. 21
No. 2
2020

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г.

Выходит 6 раз в год Префикс DOI 10.30766

Том 21, № 2, 2020

© 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. 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 – Сысуюев 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 Наталья 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, зав. отделом мониторинга состояния и использования осушаемых земель Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, г. Тверь, Россия

Казакевич Пётр Петрович

д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь

Косолапов Владимир Михайлович

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, директор Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса

Костяев Александр Иванович

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Северо-Западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, 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, руководитель отдела прогнозирования трансформации экономических структур и земельных отношений Северо-Западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, 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, AGRIS, Russian Science
Citation Index (RSCI) на ведущей
мировой платформе
Web of Science, BASE,
Dimensions, Ulrich's Periodicals
Directory, DOAJ.

Полные тексты статей
доступны на сайтах электронных
научных библиотек:

eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНСХБ: [http://www.cnsnb.ru/
elbib.shtm](http://www.cnsnb.ru/elbib.shtm);
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала: [http://
www.agronauka-sv.ru](http://www.agronauka-sv.ru)

Журнал включен
в Реферативный журнал
и Базы данных ВИНИТИ.

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

Подписано к печати
20.04.2020 г.

Дата выхода в свет
30.04.2020 г.

Формат 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 13,25
Тираж 100 экз. Заказ 8.
Свободная цена

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

Самоделькин
Александр
Геннадьевич
Сафонов Владимир
Георгиевич

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

Li Yu

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 государствен-
ная сельскохозяйственная академия, г. Нижний Новгород, Россия

д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссий-
ского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, 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 природоохранного
университета, г. Люблин, Польша

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

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

д.т.н., профессор, Технолог-природоохранитель 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., врио директора 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 зверовод-
ства 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, врио проректора по экономике и инновациям Вятской
государственной сельскохозяйственной академии, 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 и экологических технологий и
систем, Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

д.в.н., профессор кафедры экологии и зоологии Вятской государственной
сельскохозяйственной академии, 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 государ-
ственного института, заслуженный работник сельского хозяйства
Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия

Agricultural science Euro-North-East, 2020; 21(2)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

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

© The founder of the journal Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky (FARC North-East) 610007, Kirov, Lenina 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 agro-ecosystems 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

- REVIEW ARTICLE
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant growing. Storage and processing of agricultural production. Fodder production. Agriculture, agrochemistry, land improvement. 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



The Journal included in the List

Editor-in-chief – Vasily A. Sysuev, Dr. of Sci. (Engineering), the professor, academician of RAS, the Honored worker of a science of the Russian Federation, academic advisor of the FARC North-East, Kirov, Russia

The deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), the senior lecturer, head of scientific and organizational Department of the FARC North-East, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, the engineer of scientific and technical information of the FARC North-East, Kirov, Russia,

Natalya V. Veselova, Cand. of Sci. (Agricultural), the scientific secretary of the scientific and organizational Department of the 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 education and science of Russia, 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), the professor, the director of Mordovian Agricultural Research Institute, 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), professor, academician of RAS, Honored worker of science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "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), the professor, corresponding member of RAS, the All-Russia scientific research institute of agricultural use of the reclaimed lands, Tver, Russia |
| Petr P. Kazakevich | Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus |
| Vladimir M. Kosolapov | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia |
| Aleksandr I. Kostjaev | Dr. of Sci. (Economics), the professor, academician of RAS, main researcher, of North-West scientific research institute of economy and the organization of agriculture, St. Petersburg, Russia |
| Ivan M. Kulikov | Dr. of Sci. (Economics), the professor, academician of RAS, the director of the All-Russia breeding-and-technology institute of gardening and plant rearing, 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), the professor, corresponding member of RAS, North-West scientific research institute of economy and the organization of agriculture, 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, main researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia |
| Aleksandr G. Samodelkin | Dr. of Sci. (Biology), the professor, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |

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

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 magazine: <http://www.agronauka-sv.ru>

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenina 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

Signed for printing
20.04.2020.

Date of exit to light
30.04.2020.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. peps. l. 13,25
Circulation 100 copies. Order 8.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FANTS Northeast.
610007, Kirov, Lenina str., 166a

Vladimir G. Safonov

Pavel N. Sisjagin

Vera I. Titova

Anton N. Tokarev

Eroma P. Urban

Yu. A. Tsoy

Irina G. Shirokich

Irina N. Shchennikova

Changzhong Ren

Semjons Ivanovs

Andrzej Marczuk

András Náhlik

Kaisa Poutanen

Wazlaw Romanjuk

Yu Li

Aleksey V. Aleshkin

Aleksandr V. Baranov

Anna S. Brandorf

Aleksandr I. Burkov

Tatyana L. Egoshina

Aleksandr A. Ivanovsky

Lyudmila M. Kozlova

Olga V. Kostenko

Olga V. Ryabova

Aleksander P. Saveliev

Evgeniya V. Tovstik

Andrey V. Filatov

Tatyana K. Sheshgova

Gubeidulla S. Junusov

Dr. of Sci. (Biology), the professor, corresponding member of RAS, All-Russian Scientific Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

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

Dr. of Sci. (Veterinary), Head of the Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine", St. Petersburg, Russia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, Tehnological-and-naturalists' institute, Warsaw, Poland

The professor, the director of Institute of mycology of Jilin agrarian university, a foreign member of RAS, Changchun, China

Editorial Board

Dr. of Sci. (Engineering), professor at the Department of Industrial Security and Engineering systems, Vyatka State University, Kirov, Russia

Dr. of Sci. (Biology), the professor, Kostroma, Russia

Dr. of Sci. (Agricultural), Acting Director, Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoc, Russia

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, main researcher, the Honored inventor of the Russian Federation, the head of Laboratory of grain- and seed-cleaning machines of the FARC North-East, Kirov, Russia

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

Dr. of Sci. (Biology), the head of Laboratory of veterinary biotechnology of the FARC North-East, Kirov, Russia

Dr. of Sci. (Agricultural), the head of Department of agriculture, agrochemistry and land improvement of the FARC North-East, Kirov, Russia

Cand. of Sci. (Economics), actina pro-rektor for Economy and Innovation of Vjatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

Cand. of Sci. (Biology), associate Professor of Microbiology, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Perm state pharmaceutical Academy", Perm, Russia

Dr. of Sci. (Veterinary), senior researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Cand. Sci. (Biology), chief professor scientist, 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

Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Ecology and Zoology, Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

Dr. of Sci. (Biology), the head of Laboratory of immunity and plants protection of the FARC North-East, Kirov, Russia

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, Agrarian-and-technological institute of Mari State University, the Honored worker of agriculture of Republic of Mary El, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

Т. А. Бабайцева, В. В. Слюсаренко

Особенности формирования урожайности и качества семян сортов озимого тритикале под влиянием технологических приемов..... 103

В. А. Сапега, Г. Ш. Турсумбекова

Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области..... 114

Л. М. Щеклеина

Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет..... 124

Т. А. Рожмина, А. А. Жученко мл., Н. В. Мельникова, А. Д. Смирнова

Устойчивость образцов генофонда льна к эдафическому стрессу, вызванному пониженной кислотностью..... 133

А. Д. Степин, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина, Н. В. Романова

Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона..... 141

КОРМОПРОИЗВОДСТВО

Е. Н. Павлючик, А. Д. Капсамун, Н. Н. Иванова, Т. Н. Пантелеева,

Н. А. Епифанова

Агрофитоценозы на основе перспективных сортов клевера лугового на осушаемых землях Нечерноземья..... 152

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Н. А. Кодочилова, Т. С. Бузынина, Л. Д. Варламова, Е. А. Катерова

Влияние систематического внесения минеральных удобрений и длительного последствия известкования на органическое вещество светло-серой лесной почвы.. 160

ЗООТЕХНИЯ

В. М. Кузнецов

Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам..... 169

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

М. А. Прищепов, В. А. Дайнеко, Е. М. Прищепова

Обоснование алгоритма управления регулируемым электроприводом вальцовых плющилок-измельчителей фуражного зерна..... 183

ЭКОНОМИКА

В. Н. Суровцев, Е. Н. Паюрова

Направления государственной поддержки технической и технологической модернизации молочного животноводства..... 199

CONTENTS

PLANT GROWING

Tatyana A. Babaytseva, Vladimir V. Slyusarenko

Special features of productivity and seed quality development of winter triticale varieties under the influence of technological methods..... 103

Valery A. Sapega, Galina Sh. Tursumbekova

Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region..... 114

Lucia M. Shchekleina

Monitoring of winter rye diseases in Kirov region and possible trends of breeding for immunity..... 124

Tatiana A. Rozhmina, Alexander A. Zhuchenko Jr., Nataliya V. Melnikova, Anzhela D. Smirnova

Resistance of flax gene pool samples to edaphic stress caused by low acidity..... 133

Aleksander D. Stepin, Michael N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina, Nadezhda V. Romanova

Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region..... 141

FODDER PRODUCTION

Ekaterina N. Pavlyuchik, Andrey D. Kapsamun, Nadezhda N. Ivanova,

Tatyana N. Panteleeva, Nina A. Epifanova

Agrophytocenoses based on promising varieties of meadow clover on drained lands of the Non-Chernozem zone..... 152

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Natalya A. Kodochilova, Tatyana S. Buzynina, Larisa D. Varlamova,

Evgenia A. Katerova

Effect of systematic application of mineral fertilizers and long-term aftereffect of liming on the organic matter of light-grey forest soil..... 160

ZOOTECHNY

Vasiliy M. Kuznetsov

Comparison of methods for evaluating genetic differentiation of populations by microsatellite markers..... 169

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Mikhail A. Pryshchepau , Vladimir A. Daineko, Alena M. Pryshchepava

Substantiation of the algorithm for controlling the adjustable electric drive of roller crusher-grinders of forage grain..... 183

ECONOMY

Vladimir N. Surovtsev, Elena N. Payurova

Directions of state support for technical and technological modernization of dairy farming..... 199

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.103-113>



УДК 633.112.9 «324»:631.5

Особенности формирования урожайности и качества семян сортов озимого тритикале под влиянием технологических приемов

© 2020. Т. А. Бабайцева[✉], В. В. Слюсаренко

ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

Изложены результаты трехлетнего (2017-2019 гг.) изучения в условиях Удмуртской Республики влияния предпосевной обработки семян и некорневых подкормок на формирование урожайности и качества семян сортов озимого тритикале (*×Triticosecale Wittmack.*) Ижевская 2 и Зимогор. Предпосевную обработку семян осуществляли фунгицидом Виал ТТ, комплексным удобрением Agree's Форсаж и стимулятором роста Мивал-Агро в чистом виде и баковыми смесями с фунгицидом Виал ТТ, а также минеральным удобрением Эмикс. Некорневая подкормка комплексным удобрением Agree's Азот Калий была проведена однократно в фазе весеннего кущения и двукратно – в фазе весеннего кущения и полного колошения. Предпосевная обработка семян в сочетании с некорневыми подкормками обеспечила увеличение урожайности семян сорта Ижевская 2 на 0,07-0,55 т/га (или 3-24 %), сорта Зимогор – до 0,27 т/га (или до 11 %). Технологические приемы способствовали повышению лабораторной всхожести семян по сортам соответственно на 1-2 % (контроль 91 %) и 2-3 % (контроль 88 %), силы роста соответственно на 2-4 и 1-2 % (контроль – 93 %), степени развития проростков семян обоих сортов – на 0,1-0,3 балла (контроль – 4,5 и 3,7 балла). Наибольшая урожайность семян сорта Ижевская 2 (в среднем за 3 года – 2,85 т/га) получена при предпосевной обработке семян Agree's Форсаж и некорневой подкормке в фазе весеннего кущения, что выше, чем в контрольном варианте, на 0,55 т/га (или 24 %). Повышению урожайности семян озимого тритикале Зимогор до 2,81 т/га (прибавка к контролю 0,27 т/га, или 11 %) способствовала предпосевная обработка семян Agree's Форсаж независимо от кратности проведенных некорневых подкормок. Полученные семена характеризовались высокими посевными качествами: энергия прорастания семян сорта Ижевская 2 составила 85 %, сорта Зимогор – 82 %, лабораторная всхожесть соответственно 93 и 92 %, сила роста – 97 и 94-95 %. Высокую эффективность на сорте Зимогор показала также двукратная некорневая подкормка Agree's Азот Калий в сочетании с предпосевной обработкой семян Виал ТТ, Мивал-Агро и их баковой смесью, урожайность семян в этих вариантах опыта была на одном уровне (2,73 т/га). Перечисленные приемы могут быть успешно использованы при производстве семян озимого тритикале.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, некорневая подкормка, фунгицид, комплексное удобрение, стимулятор роста, энергия прорастания, лабораторная всхожесть, сила роста, проростки

Благодарности: научно-исследовательская работа частично выполнена (исследования 2019 г.) по заказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации за счет средств федерального бюджета.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бабайцева Т. А., Слюсаренко В. В. Особенности формирования урожайности и качества семян сортов озимого тритикале под влиянием технологических приемов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):103-113. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.103-113>

Поступила: 07.02.2020

Принята к публикации: 13.03.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Special features of productivity and seed quality development of winter triticale varieties under the influence of technological methods

© 2020. Tatyana A. Babaytseva[✉], Vladimir V. Slyusarenko

Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

The article provides the results of three year (2017-2019) study of the effect of pre-sowing treatment of seeds and foliar fertilizing on productivity and seed qualities of winter triticale varieties (*×Triticosecale Wittmack.*) Izhevskaya 2 and Zimogor. The research was carried out in the conditions of the Udmurt Republic. Pre-sowing seed treatment was done with fungicide Vial TT, compound fertilizer Agree's Forsazh and plant growth stimulant Mival-Agro in their pure form, with tank mixtures containing Vial TT fungicide, and with mineral fertilizer Emix. Foliar feeding with Agree's Nitrogen Potassium compound fertilizer was done once during the phase of spring tillering and twice - during the phases of spring tillering and full heading. Pre-sowing seed treatment combined with foliar fertilizing provided an increase in yield productivity of Izhevskaya 2 variety seeds by 0.07-0.55 t/ha (or 3-24 %), of Zimogor variety – up to 0.27 t/ha (or up to 11 %). The technological practices promoted the increase in the laboratory germination of seeds by varieties – 1-2 % (control 91 %) and 2-3 %

(control 88 %), respectively, germinative power – 2-4 and 1-2 % (control 93 %), respectively, degree of seedling development in both varieties – by 0.1-0.3 points (control – 4.5 and 3.7 points). The highest productivity of Izhevskaya 2 variety seeds (2.85 t/ha for 3 years on the average) has been obtained by pre-sowing treatment of seeds with Agree's Forsazh and foliar fertilizing during the phase of spring tillering that is higher than in the control variant by 0.55t/ha (or 24 %). The increase in yield productivity of winter triticale Zimigor seeds up to 2.81 % (addition to the control is 0.24t/ha or 11 %) was promoted by pre-sowing treatment of seeds with Agree's Forsazh regardless of multiplicity of foliar fertilizing. The seeds obtained were characterized by high sowing qualities of seeds: the germinating energy of Izhevskaya 2 variety seeds was 85 %, of Zimigor variety – 82 %, the laboratory germination – 93 % and 92 %, respectively, the germinative power – 97 % and 94-95 %. Double foliar fertilizing with Agree's Nitrogen Potassium combined with pre-sowing treatment with Vial TT, Mival-Agro and their tank mixtures showed high effectiveness in Zimigor variety. Seed productivity in both of these variants was at the same level (2.73 t/ha). The above-mentioned practices can be successfully used when producing winter triticale seeds.

Key words: pre-sowing seed treatment, foliar fertilizing, fungicide, compound fertilizer, plant growth stimulant, germinating energy, laboratory germination, germinative power, seedlings

Acknowledgement: the research was partially carried out (2019 studies) on order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, supported by federal budget resources.

Conflict of interest: authors declare no conflict of interest.

For citation: Babaytseva T. A., Slyusarenko V. V. Special features of productivity and seed quality development of winter triticale varieties under the influence of technological methods. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):103-113. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.103-113>

Received: 07.02.2020

Accepted for publication: 13.03.2020

Published online: 21.04.2020

Семена являются носителями биологических и хозяйственных свойств растений. Их качество во многом определяет величину урожая. Учитывая важность качества семян при производстве продукции растениеводства, вопросы его регулирования были и остаются предметом научных исследований и дискуссий.

К числу перспективных технологических приемов, обеспечивающих повышение урожайности и качества продукции растениеводства, относят предпосевную обработку семян, некорневые подкормки. Данные приемы способствуют обеззараживанию семян, активизации ростовых процессов, повышению стрессоустойчивости и, как следствие, повышению урожайности. Современный рынок агрохимикатов характеризуется огромным ассортиментом предлагаемых химических и биологических препаратов. В связи с этим изучению влияния удобрений, пестицидов, регуляторов роста на развитие, фитосанитарное состояние посевов сельскохозяйственных культур, их урожайность и качество продукции посвящены работы как отечественных [1, 2, 3, 4, 5, 6], так и зарубежных [7, 8, 9] исследователей. Анализ результатов проведенных исследований указывает на их зависимость от состава препарата, экологических факторов (географических, погодных, почвенных) и генотипических особенностей объекта исследований (культура, сорт). На основании исследований авторы формулируют рекомендации по применению тех или иных препаратов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур для различных целей.

Озимое тритикале (*×Triticosecale Wittmack.*) является относительно малораспространенной культурой как в России в целом, так и в Среднем Предуралье. Среди множества причин ограниченного распространения данной культуры следует указать слабо отработанную технологию возделывания, в том числе при производстве семян. Многочисленные исследования, проведенные в разных зонах и на различных культурах, указывают на то, что применяемые технологические приемы при выращивании семян могут оказать как положительное модифицирующее влияние на их качество [10, 11, 12, 13], так и отрицательное [14]. Имеются сведения и об отсутствии зависимости качества семян от применяемых технологических приемов [8, 15]. В связи с вышесказанным требуется изучение целесообразности применения того или иного агроприема в семеноводческих технологиях с учетом культуры, сорта и почвенно-климатических условий.

В научной литературе недостаточно сведений о степени влияния комплексных хелатных удобрений, применяемых в условиях Среднего Предуралья для предпосевной обработки семян и некорневых подкормок на семенных участках озимого тритикале, отсутствуют данные об их эффективности в сочетании с регуляторами роста и биологическими препаратами.

Цель исследований – усовершенствование технологии возделывания озимого тритикале на семенные цели в Среднем Предуралье на основе применения предпосевной обработки семян в сочетании с некорневыми подкормками.

Материал и методы. Исследования проведены в 2017-2019 гг. на полях УНПК «Агротехнопарк» и кафедре растениеводства Ижевской ГСХА. Изучаемые в опытах сорта Ижевская 2 и Зимогор допущены к возделыванию в Волго-Вятском регионе и наиболее распространены в Удмуртской Республике.

Сорт Ижевская 2 селекции ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА кормового направления использования. Гексаплоидный. Сорт-популяция, колос от белого до сильноокрашенного. Высокостебельный (до 130 см), слабо устойчив к полеганию. Обладает высокой зимостойкостью и хорошей регенерационной способностью весной. Масса 1000 зерен 33-44 г. Зимогор – сорт селекции ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», зернового направления использования. Гексаплоидный. Среднерослый, устойчивый к полеганию. Зимостойкость средняя. Масса 1000 зерен 40-52 г.

Опыт трехфакторный. Схема опыта:

Фактор А – сорт: А1 – Ижевская 2, А2 – Зимогор.

Фактор В – предпосевная обработка семян: В1 – без обработки (контроль); В2 – фунгицид Виал ТТ¹, ВСК (80+60 г/л), 0,4 л/т; В3 – комплексное удобрение Agree's Форсаж², 2 л/т; В4 – баковая смесь Agree's Форсаж, 2 л/т + Виал ТТ, 0,4 л/т; В5 – стимулятор роста Мивал-Агро³, 5 г/т; В6 – баковая смесь Мивал-Агро, 5 г/т + Виал ТТ, 0,4 л/т; В7 – минеральное удобрение Эмикс⁴, 100 мл/т.

Фактор С – некорневая подкормка Agree's Азот Калий⁵, 4 л/га: С1 – однократная в фазе весеннего кущения (к); С2 – двукратная в фазе весеннего кущения и в фазе полного колошения.

Предпосевная обработка семян была проведена не более чем за сутки до посева, некорневая подкормка – согласно схеме опыта. Расход рабочей жидкости для предпосевной обработки семян 10 л/т, для некорневой подкормки – 200 л/га. Расчет нормы высева и установку сеялки осуществляли в день посева с учетом изменения сыпучести семян после их обработки.

Выход семян из урожая определяли после пропуска высушенного зерна на лабораторной сортировке К-294А (Petkus), урожайность семян – расчетным методом с учетом их выхода. Оценка энергии прорастания и лабораторной всхожести семян проведена в соответствии с ГОСТ 12038-84. Степень развития проростков определена при их проращивании в рулонах в течение 5 суток в соответствии с методикой Государственной семенной инспекции⁶. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного анализа по алгоритмам, изложенным Б. А. Доспеховым⁷ с использованием программы «Microsoft Office Excel 2016».

Исследования проводили на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве. Реакция почвенной среды слабокислая (рН_{KCl} 5,1-5,2), содержание гумуса (по Тюрину) – среднее (2,2-2,5 %). Почва опытных участков в разные годы сильно различалась по содержанию подвижного фосфора и обменного калия, что свойственно для почв региона. Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) варьировало от повышенного до очень высокого (132-337 мг/кг почвы), обменного калия (по Кирсанову) – от среднего до очень высокого (104-373 мг/кг почвы).

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались. Период перезимовки 2016-2017 гг. характеризовался относительно теплой погодой в первой половине и обилием осадков во второй. К концу зимы высота снежного покрова достигла 75 см. Это привело к выпреванию и сильной изреженности посевов озимого тритикале. Весенне-летний период вегетации характеризовался дождливой и прохладной погодой с мая по июль, ГТК = 1,93. Условия способствовали формированию крупного полновесного колоса, хорошо выполненного зерна, но затянули вегетацию. Сухая и теплая погода в августе обеспечила хорошие условия для созревания зерна.

¹ <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/vial-tt-vsk.html> (дата обращения: 11.01.2020 г.).

² https://soyuzhim.ru/production/zhomu/katalog_4.html (дата обращения: 11.01.2020 г.).

³ <https://agrosil.ru/mival-agro/> (дата обращения: 11.01.2020 г.).

⁴ <http://argo-pro.ru/products/baykal-em-1-i-em-tehnologiya/product-udobrenie-mineralnoe-emiks> (дата обращения: 11.03.2020 г.).

⁵ https://soyuzhim.ru/production/zhomu/katalog_3.html (дата обращения: 11.01.2020 г.).

⁶ Методика определения силы роста семян. Сост. Л. В. Матющенко, З. М. Калошина, Б. С. Лихачев. М.: МСХ СССР, Государственная семенная инспекция, 1983. 14 с.

⁷ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Условия вегетации озимого тритикале 2017-2018 гг. были благоприятными, ГТК за период от возобновления весенней вегетации до уборки составил 1,02. Установившаяся сухая и жаркая погода в конце июля и августе ускорили созревание и обеспечили формирование некрупного зерна. В 2018-2019 гг. сложились относительно благоприятные условия для перезимовки озимого тритикале и начала его вегетации, но холодная и влажная погода в июле – августе удлинила вегетационный период культуры, ГТК за весенне-летний период составил 1,73. Обильные осадки вызвали полегание и прорастание зерна на корню.

Таким образом, нестабильность почвенно-климатических условий региона и их существенное влияние на формирование урожая обосновывает разработку технологических приемов, способствующих оптимизации роста и развития культуры и получению высококачественных семян.

Результаты и их обсуждение. Различные условия вегетации отразились на формировании урожая озимого тритикале, но не повлияли на выход семян. Во все годы он был высоким и варьировал в среднем в пределах 89-91 %. В 2017 г. изучаемые факторы не оказали существенного влияния на изменение показателя, но в последующие годы, при оптимальной густоте и выравненном стеблестое, предпосевная обработка семян и применение двукратной некорневой подкормки комплексным удобрением Agree's Азот Калий обеспечили повышение показателя на 1-6 %.

В годы проведения исследований отмечено сильное варьирование урожайности семян озимого тритикале. В 2017 г. в среднем по опыту она составила 1,36 т/га, существенного влияния изучаемых факторов установлено не было (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность семян сортов озимого тритикале, т/га (2017 г.) /
 Table 1 – Productivity of winter triticale variety seeds, t/ha (2017)

Сорт (A) / Variety (A)	Предпосевная обработка семян (B) / Pre-sowing seed treatment (B)	Некорневая подкормка Agree's Азот Калий (C) / Foliar fertilizing with Agree's Nitrogen Potassium (C)		Среднее (A) / Average (A)	Среднее (B) / Average (B)
		однократная (контроль) / single (control)	двукратная / double		
Ижевская 2 / Izhevskaya 2	Без обработки (контроль) / Without treatment (control)	1,46	1,49	1,44	1,51
	Виал ТТ / Vial TT	1,50	1,42		1,39
	Agree's Форсаж / Agree's Forsazh	1,78	1,26		1,46
	Agree's Форсаж + Виал ТТ / Agree's Forsazh + Vial TT	1,15	1,49		1,25
	Мивал-Агро / Mival-Agro	1,50	1,22		1,30
	Мивал-Агро + Виал ТТ / Mival-Agro + Vial TT	1,39	1,45		1,25
	Эмикс / Emix	1,66	1,45		1,40
Зимотор / Zimogor	Без обработки (контроль) / Without treatment (control)	1,53	1,57	1,29	-
	Виал ТТ / Vial TT	1,29	1,35		
	Agree's Форсаж / Agree's Forsazh	1,47	1,32		
	Agree's Форсаж + Виал ТТ / Agree's Forsazh + Vial TT	1,21	1,14		
	Мивал-Агро / Mival-Agro	1,05	1,43		
	Мивал-Агро + Виал ТТ / Mival-Agro + Vial TT	1,02	1,12		
	Эмикс / Emix	1,34	1,17		
Среднее (C) / Average (C)		1,38	1,35	1,36	
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		A		B	
Частных различий / Specific differences		F _ф <F ₀₅		F _ф <F ₀₅	
Главных эффектов / Main effects		F _ф <F ₀₅		F _ф <F ₀₅	

В результате низкой зимостойкости (в среднем по опыту 47 %) густота стеблестоя была неоднородной как в пределах делянки, так и по повторностям, поэтому в изменчивости урожайности семян по вариантам опыта преобладали случайные факторы (88 %).

В 2018 г. сложились наиболее благоприятные условия, средняя урожайность семян в опыте была самой высокой за годы проведения исследований – 3,86 т/га (табл. 2).

Из изучаемых факторов доминирующее влияние на изменчивость урожайности семян оказал сорт (51 %). Аналогичное заключение, касающееся усиления роли генотипа при благоприятных условиях вегетации в продукционном процессе ячменя, было сделано Т. К. Шешеговой и И. Н. Щенниковой [16]. Сорт Зимогор в этих условиях оказался более урожайным.

Таблица 2 – Урожайность семян сортов озимого тритикале, т/га (2018 г.) /

Table 2 – Productivity of winter triticale variety seeds, t/ha (2018)

Сорт (А) / Variety (A)	Предпосевная обработка семян (В) / Pre-sowing seed treatment (B)	Некорневая подкормка Agree`s Азот Калий (С) / Foliar fertilizing with Agree`s Nitrogen Potassium (C)		Среднее (А) / Average (A)	Среднее (В) / Average (B)
		однократная (контроль) / single (control)	двукратная / double		
Ижевская 2 / Izhevskaya 2	Без обработки (контроль) / Without treatment (control)	3,33	3,53	3,45	3,75
	Виал ТТ / Vial TT	3,32	3,41		3,81
	Agree`s Форсаж / Agree`s Forsazh	3,66	3,39		3,95
	Agree`s Форсаж + Виал ТТ / Agree`s Forsazh + Vial TT	3,30	3,43		3,75
	Мивал-Агро / Mival-Agro	3,43	3,69		3,89
	Мивал-Агро + Виал ТТ / Mival-Agro + Vial TT	3,39	3,52		4,10
	Эмикс / Emix	3,39	3,56		3,79
Зимогор / Zimogor	Без обработки (контроль) / Without treatment (control)	4,00	4,14	4,27	-
	Виал ТТ / Vial TT	4,16	4,36		
	Agree`s Форсаж / Agree`s Forsazh	4,15	4,61		
	Agree`s Форсаж + Виал ТТ / Agree`s Forsazh + Vial TT	4,09	4,16		
	Мивал-Агро / Mival-Agro	4,10	4,34		
	Мивал-Агро + Виал ТТ / Mival-Agro + Vial TT	4,79	4,69		
	Эмикс / Emix	4,10	4,13		
Среднее (С) / Average (C)		3,80	3,93	3,86	
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		А		В	С
Частных различий / Specific differences		2,12		0,47	F _φ <F ₀₅
Главных эффектов / Main effects		0,57		0,24	F _φ <F ₀₅

Были отмечены сортовые особенности в реакции на изучаемые технологические приемы. Изменчивость урожайности семян сорта Ижевская 2 по вариантам находилась в пределах ошибки опыта. При выращивании семян сорта Зимогор отмечена высокая эффек-

тивность сочетания предпосевной обработки семян баковой смесью стимулятора роста Мивал-Агро с фунгицидом Виал ТТ с последующими некорневыми подкормками Agree's Азот Калий. При однократной некорневой подкормке урожайность повысилась по срав-

нению с контролем на 0,79 т/га, а при двукратной – на 0,55 т/га ($HCP_{05} = 0,47$ т/га).

В 2019 г. наибольшее влияние на изменчивость урожайности (48 %) оказала предпосевная обработка семян. При средней урожайности в опыте 2,48 т/га преимущество имел сорт Ижевская 2 (табл. 3). На обоих сортах

формирование наибольшей урожайности обеспечила предпосевная обработка комплексным удобрением Agree`s Форсаж: у сорта Ижевская 2 (3,40 т/га) – в сочетании с двукратной некорневой подкормкой удобрением Agree`s Азот Калий, у сорта Зимогор (2,71 т/га) – с однократной.

Таблица 3 – Урожайность семян сортов озимого тритикале, т/га (2019 г.) /
Table 3 – Productivity of winter triticale variety seeds, t/ha (2019)

Сорт (А) / Variety (A)	Предпосевная обработка семян (В) / Pre-sowing seed treatment (B)	Некорневая подкормка Agree`s Азот Калий (С) / Foliar fertilizing with Agree`s Nitrogen Potassium (C)		Среднее (А) / Average (A)	Среднее (В) / Average (B)
		однократная (контроль) / single (control)	двукратная / double		
Ижевская 2 / Izhevskaya 2	Без обработки (контроль) / Without treatment (control)	2,10	2,18	2,59	2,14
	Виал ТТ /Vial TT	2,67	2,58		2,51
	Agree`s Форсаж / Agree`s Forsazh	3,10	3,40		2,93
	Agree`s Форсаж + Виал ТТ / Agree`s Forsazh +Vial TT	2,66	2,76		2,59
	Мивал-Агро / Mival-Agro	2,36	2,58		2,43
	Мивал-Агро + Виал ТТ / Mival-Agro + Vial TT	2,33	2,59		2,38
	Эмикс / Emix	2,26	2,63		2,36
Зимогор / Zimogor	Без обработки (контроль) / Without treatment (control)	2,20	2,10	2,37	-
	Виал ТТ / Vial TT	2,30	2,48		
	Agree`s Форсаж / Agree`s Forsazh	2,71	2,50		
	Agree`s Форсаж + Виал ТТ / Agree`s Forsazh + Vial TT	2,56	2,36		
	Мивал-Агро / Mival-Agro	2,38	2,41		
	Мивал-Агро + Виал ТТ / Mival-Agro + Vial TT	2,21	2,37		
	Эмикс/ Emix	2,25	2,31		
Среднее (С) / Average (C)		2,44	2,52	2,48	
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		А	В	С	
Частных различий / Specific differences		0,35	0,24	0,28	
Главных эффектов / Main effects		0,09	0,12	0,07	

Таким образом, изучаемые сорта характеризовались высокой отзывчивостью на применение современных удобрений и препаратов. В среднем за три года исследований урожайность семян сорта Ижевская 2 в зависимости от изучаемых технологических приемов повысилась на 0,07-0,55 т/га. Наибольшая урожайность данного сорта (2,85 т/га) получена при сочетании предпосевной

обработки семян удобрением Agree`s Форсаж и однократной некорневой подкормки Agree`s Азот Калий (рис.), что выше аналогичного показателя других вариантов опыта на 0,16-0,55 т/га, или на 6-19 %. Эффективность агроприемов на сорте Зимогор была ниже, т. к. прибавка урожайности была отмечена не во всех вариантах и составила 0,04-0,23 т/га. Наиболее высокую урожай-

ность (2,78 и 2,81 т/га) сорт сформировал при предпосевной обработке семян удобрением Agree's Форсаж независимо от кратности

проведенной некорневой подкормки, что выше урожайности в других вариантах опыта на 0,08-0,27 т/га, или на 2-11 %.

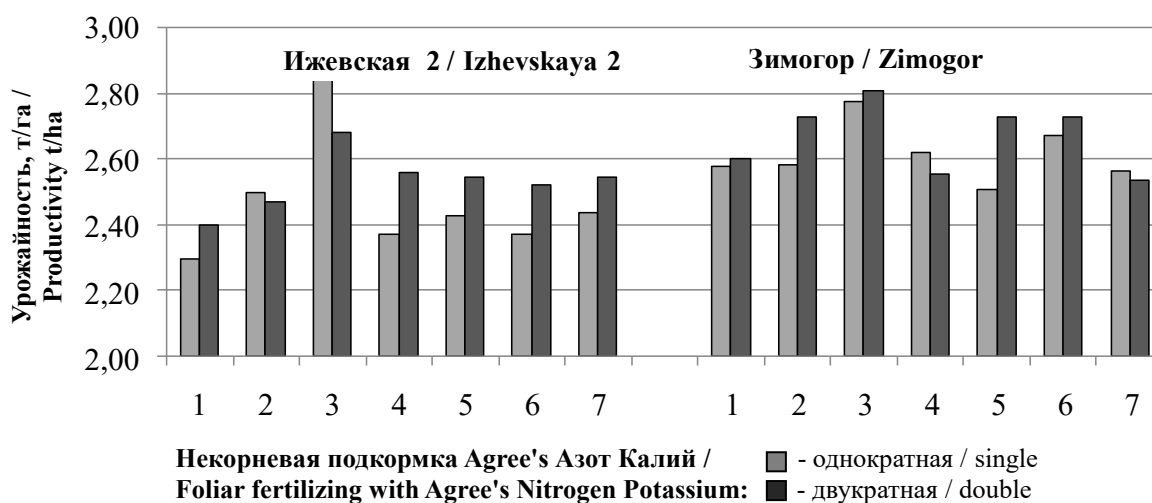


Рис. Урожайность семян сортов озимого тритикале при сочетании некорневой подкормки Agree's Азот Калий и предпосевной обработки семян, т/га (среднее 2017-2019 гг.): 1 – без обработки (контроль); 2 – Виал ТТ; 3 – Agree's Форсаж; 4 – Agree's Форсаж + Виал ТТ; 5 – Мивал-Агро; 6 – Мивал-Агро + Виал ТТ; 7 – Эмикс /

Fig. Productivity of winter triticale variety seeds when combined with non-root fertilization of Agree's Nitrogen Potassium and pre-sowing seed treatment, t/ha (average 2017-2019): 1 – without treatment (control); 2 – Vial TT; 3 – Agree's Forsazh; 4 – Agree's Forsazh + Vial TT; 5 – Mival-Agro; 6 – Mival-Agro + Vial TT; 7 – Emix

Об урожайных свойствах семян, по мнению ряда исследователей [10, 17, 18], можно судить еще на этапе гетеротрофного питания, то есть по энергии прорастания, лабораторной всхожести, силе роста, характере формирования проростков.

Анализ выращенных семян по перечисленным показателям позволил выявить некоторые закономерности. Отмечено большое влияние в изменчивости энергии прорастания, лабораторной всхожести и силы роста условий формирования семян. В 2017 и 2018 гг. погодные условия в этот период были благоприятными, в 2019 г. часто выпадавшие осадки способствовали прорастанию зерна на корню. У сорта Ижевская 2 проросло в зависимости от варианта опыта 12-15 % зерен, у сорта Зимогор – до 2 %. Это отразилось на показателях качества выращенных семян.

В относительно благоприятных условиях в период налива и созревания семян в первые два года энергия их прорастания была в среднем 85-86 %, общих закономерностей изменения показателя по вариантам опыта не установлено. В неблагоприятных условиях 2019 г.

данный показатель снизился у сорта Ижевская 2 до 73 %, у сорта Зимогор – до 70 %. Однако предпосевная обработка обеспечила повышение энергии прорастания семян обоих сортов на 3-7 % ($НСР_{05} = 3\%$). Двукратная некорневая подкормка по сравнению с однократной не оказала существенного влияния на изменение данного показателя. В среднем за три года исследований не отмечено существенных изменений энергии прорастания обоих сортов в зависимости от изучаемых технологических приемов.

Характер изменения лабораторной всхожести по годам был аналогичным. В благоприятных условиях формирования и созревания полученные семена по данному показателю соответствовали требованиям ГОСТ Р 52325-2005, лабораторная всхожесть составила 91-95 %. Более высокие значения показателя во всех вариантах опыта отмечены у сорта Ижевская 2. В 2019 г. выращенные семена характеризовались пониженной всхожестью, которая варьировала в пределах 83-87 %. Межсортные различия по данному показателю были незначительными.

В среднем за годы исследований более высокой лабораторной всхожестью (92 %) обладали семена сорта Ижевская 2, у сорта Зимогор данный показатель был ниже на 2 % ($НСР_{05} = 1\%$). Семена сорта Ижевская 2 во всех вариантах опыта соответствовали по данному показателю требованиям ГОСТ Р 52325-2005.

И. Г. Строна [19] отмечал возможность прогнозирования адаптивных способностей семян в полевых условиях по величине разрыва между энергией прорастания и лабораторной всхожестью, что свидетельствует о физиологической активности семян. По мнению ученого, чем меньше разрыв, тем более качественные семена. М. В. Архипов с соавторами [10] также указывали на наличие обратной связи величины разрыва между энергией прорастания и лабораторной всхожестью с массой 1000 семян озимой пшеницы. Сравнительная оценка семян по данным показателям подтвердила влияние условий вегетации и изучаемых факторов на их биологическую ценность. В неблагоприятном 2019 г. разница между энергией прорастания и лабораторной всхожестью семян обоих сортов составила в среднем 12 %, тогда как в предыдущие годы – 8-9 %. Несмотря на то, что во все годы исследований более качественные семена формировались у сорта Зимогор, разрыв между анализируемыми показателями данного сорта в среднем составил 8 %, у сорта Ижевская 2 – 10 %. У изучаемых сортов сократить этот разрыв технологическими приемами не удалось.

Потенциальную способность семян к быстрому прорастанию и формированию нормальных сильных проростков характеризует сила роста. Данный показатель исследуемых семян во все годы был высоким и составил 90-98 %. Как и предыдущие показатели, он был выше в условиях, благоприятных для формирования и созревания семян, сложившихся в 2017 г. и 2018 г. Существенных различий в силе роста по вариантам опыта в эти годы не установлено. В неблагоприятных условиях 2019 г. наибольшее влияние на изменение показателя (доля фактора 61 %) оказал сорт. Сила роста семян сорта Ижевская 2 составила 92 %, сорта Зимогор – 89 %. Предпосевная обработка и двукратная некорневая подкормка способствовали повышению показателя изучаемых сортов на 1-4 % ($НСР_{05}$ по обоим факторам = 1 %). В среднем за три года более высокой силой роста (96 %) обладали семена сорта Ижевская 2. Предпосевная обработка семян данного сорта в среднем

по опыту способствовала повышению показателя на 2-4 % ($НСР_{05} = 2\%$), двукратная некорневая подкормка по сравнению с однократной не оказала существенного влияния на его изменение. Существенных различий в силе роста семян сорта Зимогор по вариантам опыта не установлено.

При анализе силы роста дополнительно была проведена балльная оценка проростков. Исследования показали, что наибольшее влияние на варьирование данного показателя по вариантам опыта в 2017 г. оказало взаимодействие факторов (33 %), в 2018 и 2019 гг. – фактор «сорт» (соответственно 92 и 88 %).

Более мощные проростки формировали семена сорта Ижевская 2, оцененные в среднем за три года в 4,7 балла при оценке проростков сорта Зимогор в 3,9 балла ($НСР_{05} = 0,1$ балл). Предпосевная обработка семян обоих сортов в среднем по опыту обеспечила повышение степени развития проростков на 0,1-0,3 балла ($НСР_{05} = 0,1$ балла), существенное влияние двукратной некорневой подкормки по сравнению с однократной было отмечено лишь в отдельных вариантах опыта.

Выводы 1. Формирование величины урожая сортов озимого тритикале Ижевская 2 и Зимогор зависело от условий вегетации. При благоприятных условиях преимущество по урожайности семян имел сорт Зимогор, при неблагоприятных условиях – Ижевская 2. Сорт Ижевская 2 оказался более отзывчивым на предпосевную обработку семян и двукратную некорневую подкормку комплексным удобрением Agree's Азот Калий.

2. При возделывании сорта Ижевская 2 на семенные цели наиболее эффективно применение предпосевной обработки семян комплексным удобрением Agree's Форсаж и некорневой подкормки Agree's Азот Калий в фазе весеннего кущения. Данный комплекс приемов обеспечил повышение урожайности на 0,16-0,55 т/га (или на 6-24 %) и получение семян с высокими посевными качествами.

3. В технологии выращивания озимого тритикале Зимогор целесообразно применять предпосевную обработку семян комплексным удобрением Agree's Форсаж, фунгицидом Виал ТТ, стимулятором роста Мивал-Агро или баковой смесью Виал ТТ + Мивал-Агро в сочетании с двукратной некорневой подкормкой Agree's Азот Калий, проведенной в фазе весеннего кущения и полного колошения. Это обеспечило повышение урожайности на 0,08-0,27 т/га (или на 2-11 %) и качества семян.

Список литературы

1. Сорока Т. А., Щукин В. Б., Ильясова Н. В. Влияние предпосевной обработки семян регуляторами роста, микроэлементами и препаратом Росток на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при возделывании на черноземе южном. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(2(64)):21-24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29104530>
2. Никифоров В. М., Никифоров М. И., Силаев А. Л., Чекин Г. В., Смольский Е. В., Нечаев М. М., Асташина А. А. Применение хелатов микроэлементов в технологии возделывания озимой тритикале. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(5 (75)):28-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41161791>
3. Кшникаткина А. Н., Кшникаткин С. А., Денисов К. Е., Денисов Е. П., Четвериков Ф. П., Поле-таев И. С. Комплексные водорастворимые удобрения, регуляторы роста и бактериальные препараты в технологии возделывания ярового тритикале. Аграрный научный журнал. 2017;(4):27-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29111712>
4. Максимов В. А., Золотарёва Р. И., Максимова Р. Б. Влияние разных доз азотной подкормки на зерновую и кормовую продуктивность сортов озимой ржи в условиях Республики Марий Эл. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;65(4):36-41. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.36-41>
5. Богомазов С. В., Левин А. А., Ткачук О. А., Лянденбургская А. В. Урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от применения гуминового и минерального удобрений. Нива Поволжья. 2019;(3 (52)):68-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41141409>
6. Дёмина Е. А., Кинчаров А. И., Муллаянова О. С., Таранова Т. Ю., Чекмасова К. Ю. Влияние современных препаратов для обработки семян и микроудобрений на продуктивность сортов яровой мягкой пшеницы. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019;(10-1 (37)):132-137. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11621>
7. Akgul D. S., Erkilic A. Effect of wheat cultivars, fertilizers, and fungicides on Fusarium foot rot disease of wheat. Turkish journal of Agriculture and Forestry. 2016;40(1):101-108. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1410-31>
8. Bazzo J. H. B., da Costa D. S., Barbizan T., Barbosa A. P., de Oliveira E. C., Zucareli C. Molybdenum application associated with nitrogen fertilization on yield and physiological potential of wheat seeds. Semina Ciencias Agrarias. 2018;39(1):67-75. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p67>
9. Chen Z. K., Khan A., Shi X. J., Hao X. Z., Tan D. K. Y., Luo H. H. Water-nutrient management enhances root morpho-physiological functioning, phosphorus absorption, transportation and utilization of cotton in arid region. Industrial Crops and Products. 2020;143. Article Number. 111975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111975>
10. Архипов М. В., Гусакова Л. П., Канаш Е. В. Влияние различных доз минеральных удобрений на посевные качества семян и урожайные свойства дочернего поколения пшеницы. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017;(2 (47)):63-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29757891>
11. Карпова Л. В. Модификационное воздействие агротехнических приемов на качество семян зерновых культур и прогнозирование их потенциальных возможностей в условиях Среднего Поволжья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009;(1 (21)):13-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12794563>
12. Кошеляев В. В., Карпова Л. В. Влияние элементов технологии на урожай и посевные качества семян озимой пшеницы. Нива Поволжья. 2014;(4 (33)):60-66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22704045>
13. Бабайцева Т. А. Влияние предпосевной обработки семян на урожайность и посевные качества озимых зерновых культур. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(2 (55)):12-21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36588341>
14. Шаболкина Е. Н., Нещерет Л. К., Анисимкина Н. В., Шувалова О. В., Беляева М. В. Влияние предпосевной обработки препаратами протекторного действия и минеральных удобрений на качества семян. Зерновое хозяйство России. 2018;(4(58)):11-14. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-11-14>
15. Сорока Т. А., Щукин В. Б., Ильясова Н. В. Посевные качества семян, морфологические и физиологические показатели растений озимой пшеницы в начальный период роста и развития в зависимости от влияния различных экзогенных факторов на формирование семян. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017; (4 (66)): 226-229. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009179>
16. Шешегова Т. К., Щенникова И. Н. Реакция нового сорта ячменя Родник Прикамья на применение регуляторов роста растений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(3(64)):28-33. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.28-33>
17. Ларионов Ю. С., Горбатая А. П. Степень развития органов проростков семян бобовых культур как показатель их потенциальной продуктивности. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012;(2 (88)):17-18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17356623>

18. Бутковская Л. К., Кузьмин Д. Н., Агеева Г. М. Оценка урожайных свойств партий семян сортов яровой пшеницы по параметрам органов проростков в условиях Красноярской лесостепи. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(7):37-40. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10709>
19. Строна И. Г. Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 464 с.

References

1. Soroka T. A., Shchukin V. B., Il'yasova N. V. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan regulatorami rosta, mikroelementami i preparatorom Rostok na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy pshenitsy pri vozdeystvovanii na chernozeme yuzhnom*. [Effect of presowing treatment of seeds with growth regulators, trace elements and rostok preparation on the yields and quality of grain of winter wheat cultivated on south chernozem soils]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(2(64)):21-24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29104530>
2. Nikiforov V. M., Nikiforov M. I., Silaev A. L., Chekin G. V., Smol'skiy E. V., Nechaev M. M., Astashina A. A. *Primenenie khelatov mikroelementov v tekhnologii vozdeystvovaniya ozimoy tritikale*. [Application of Microelement Chelates in Winter Triticale Cultivation Technology]. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019; (5 (75)): 28-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41161791>
3. Kshnikatkina A. N., Kshnikatkin S. A., Denisov K. E., Denisov E. P., Chetverikov F. P., Poletaev I. S. *Kompleksnye vodorastvorimye udobreniya, regulatory rosta i bakterial'nye preparaty v tekhnologii vozdeystvovaniya yarovogo tritikale*. [Complex water-soluble fertilizers, growth regulators and bacterial preparations the technology of cultivation of spring triticale]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2017; (4): 27-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29111712>
4. Maksimov V. A., Zolotareva R. I., Maksimova R. B. *Vliyanie raznykh doz azotnoy podkormki na zernovuyu i kormovuyu produktivnost' sortov ozimoy rzhi v usloviyakh Respubliki Mariy El*. [Effect of different doses of nitrogen fertilizing on the grain and fodder productivity of winter rye varieties in the conditions of the Republic of Mari El]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;65(4):36-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.36-41>
5. Bogomazov S. V., Levin A. A., Tkachuk O. A., Lyandenburskaya A. V. *Urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy myagkoy pshenitsy v zavisimosti ot primeneniya guminovogo i mineral'nogo udobreniy*. [Yield and quality of grain of spring soft wheat, depending on the application of humic and mineral fertilizers]. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2019;(3 (52)):68-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41141409>
6. Demina E. A., Kincharov A. I., Mullanayanova O. S., Taranova T. Yu., Chekmasova K. Yu. *Vliyanie sovremennykh preparatov dlya obrabotki semyan i mikroudobreniy na produktivnost' sortov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Influence of modern preparations for seed treatment and microfertilizers on productivity of spring soft wheat varieties]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019;(10-1 (37)):132-137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11621>
7. Akgul D. S., Erkilic A. Effect of wheat cultivars, fertilizers, and fungicides on Fusarium foot rot disease of wheat. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*. 2016;40(1):101-108. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1410-31>
8. Bazzo J. H. B., da Costa D. S., Barbizan T., Barbosa A. P., de Oliveira E. C., Zucareli C. Molybdenum application associated with nitrogen fertilization on yield and physiological potential of wheat seeds. *Semina Ciencias Agrarias*. 2018;39(1):67-75. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p67>
9. Chen Z. K., Khan A., Shi X. J., Hao X. Z., Tan D. K. Y., Luo H. H. Water-nutrient management enhances root morpho-physiological functioning, phosphorus absorption, transportation and utilization of cotton in arid region. *Industrial Crops and Products*. 2020;143. Article Number. 111975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111975>
10. Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Kanash E. V. *Vliyanie razlichnykh doz mineral'nykh udobreniy na posevnye kachestva semyan i urozhaynye svoystva dochernego pokoleniya pshenitsy*. [Effect of different doses of mineral fertilizers on seed quality and yield properties of the daughter generation of wheat]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2017;(2 (47)):63-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29757891>
11. Karpova L. V. *Modifikatsionnoye vozdeystvie agrotekhnicheskikh priemov na kachestvo semyan zernovykh kul'tur i prognozirovaniye ikh potentsial'nykh vozmozhnostey v usloviyakh Srednego Povolzh'ya*. [Modified effect of agrotechnical practices on seed quality of grain crops and their potentials forecasting under the conditions of mid.povolzhye]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2009;(1 (21)):13-16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12794563>
12. Koshelyaev V. V., Karpova L. V. *Vliyanie elementov tekhnologii na urozhay i posevnye kachestva semyan ozimoy pshenitsy*. [The influence of technology elements on yield and sowing quality of winter wheat seeds]. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2014;(4 (33)):60-66. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22704045>
13. Babaytseva T. A. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan na urozhaynost' i posevnye kachestva ozimyykh zernovykh kul'tur*. [Influence of presowing treatment of seeds on yield and sowing quality of the winter grain crops].

Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2018;(2 (55)):12-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36588341>

14. Shabolkina E. N., Neshcheret L. K., Anisimkina N. V., Shuvalova O. V., Belyaeva M. V. *Vliyanie predposevnoy obrabotki preparatami protekhnologicheskogo deystviya i mineral'nykh udobreniy na kachestva semyan*. [The effect of seedbed treatment by the protecting preparations and mineral fertilizers on seed quality]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(4(58)):11-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-11-14>

15. Soroka T. A., Shchukin V. B., Il'yasova N. V. *Posevnye kachestva semyan, morfologicheskie i fiziologicheskie pokazateli rasteniy ozimoy pshenitsy v nachal'nyy period rosta i razvitiya v zavisimosti ot vliyaniya razlichnykh ekzogennykh faktorov na formirovaniye semyan*. [Sowing qualities of seeds, morphological and physiological indices of winter wheat plants in the initial period of their growth and development, depending on the influence of various exogenous factors on seed formation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017; (4 (66)): 226-229. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009179>

16. Sheshegova T. K., Shchennikova I. N. *Reaktsiya novogo sorta yachmenya Rodnik Prikam'ya na primeneniye regulyatorov rosta rasteniy*. [The response of a new barley variety Rodnik Prikamiya to the use of plant growth regulators]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(3(64)):28-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.28-33>

17. Larionov Yu. S., Gorbataya A. P. *Stepen' razvitiya organov prorostkov semyan bobovykh kul'tur kak pokazatel' ikh potentsial'noy produktivnosti*. [The degree of development of organs of sprouts seeds of legumes as an indicator of their potential productivity]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012;(2 (88)):17-18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17356623>

18. Butkovskaya L. K., Kuz'min D. N., Ageeva G. M. *Otsenka urozhay-nnykh svoystv partiy semyan sortov yarovoy pshenitsy po parametram organov prorostkov v usloviyakh Krasnoyarskoy lesostepi*. [Evaluation of the Yield Properties of Spring Wheat by the Parameters of Sprouts' Organs under the Conditions of the Krasnoyarsk Forest-Steppe]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(7):37-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10709>

19. Strona I. G. *Obshchee semenovedenie polevykh kul'tur*. [General seed science of field crops]. Moscow: Kolos, 1966. 464 p.

Сведения об авторах

✉ **Бабайцева Татьяна Андреевна**, доктор с.-х. наук, доцент, профессор кафедры растениеводства ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Студенческая, д. 11, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426069, e-mail: rector@izhgsha.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-3784-0025>, e-mail: taan62@mail.ru

Слюсаренко Владимир Васильевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Студенческая, д. 11, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426069, e-mail: rector@izhgsha.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0001-7433-5127>, e-mail: vladslyu@yandex.ru

Information about the authors

✉ **Tatyana A. Babaytseva**, DSc in Agricultural Science, associate professor, professor at the Department of Crop Growing, Izhevsk State Agricultural Academy, Studencheskaya street, 11, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426069, e-mail: rector@izhgsha.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-3784-0025>, e-mail: taan62@mail.ru

Vladimir V. Slysarenko, postgraduate, Izhevsk State Agricultural Academy, Studencheskaya street, 11, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426069, e-mail: rector@izhgsha.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0001-7433-5127>, e-mail: vladslyu@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области

© 2020. В. А. Сапега¹ ✉, Г. Ш. Турсумбекова²

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Российская Федерация

Цель исследований – оценка допущенных к использованию 10 сортов яровой мягкой пшеницы и 5 перспективных сортов яровой твердой пшеницы российской селекции по урожайности и параметрам адаптивности за 2015-2018 гг. на основе результатов их испытания в южной лесостепной зоне Тюменской области. Продуктивный и адаптивный потенциал сортов определяли по методике Л. А. Животкова с соавторами, среднюю урожайность в контрастных условиях – по уравнениям А. А. Rossielle, J. Hemblin, изменчивость урожайности – по методике Б. А. Доспехова, индекс условий среды и экологическую пластичность сортов – по S. A. Eberhart, W. A. Russell, общую адаптивную способность сортов – по А. В. Кильчевскому, Л. В. Хотылевой. Наиболее сильная вариабельность индексов условий среды в годы испытания сортов выявлена у среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы – от -1,08 (2017 г.) до 1,26 (2018 г.). Лучшими сортами яровой мягкой пшеницы по средней урожайности признаны Тюменская юбилейная (среднеранний, 3,06 т/га) и Авиада (среднеспелый, 2,86 т/га), а у яровой твердой – Омский изумруд (3,52 т/га). В благоприятных условиях 2018 г. на основе определения доли урожайности сортов относительно среднесортовой наибольший потенциал урожайности яровой мягкой пшеницы выявлен у сортов Тюменская юбилейная (среднеранний, 111,5 %), Авиада (среднеспелый, 108,9 %) и яровой твердой пшеницы – Омская степная (105,7 %). В неблагоприятных условиях 2017 г. высокая адаптивность отмечена у сортов яровой мягкой пшеницы Екатерина (среднеранний, 118,7 %), Икар (среднеспелый, 105,0 %) и яровой твердой пшеницы Омская степная (105,8 %). Все изученные сорта независимо от видовой принадлежности обладали значительной изменчивостью урожайности. Большинство сортов характеризовались как пластичные (b_i равно или близко единице). Сильная отзывчивость на изменение условий выявлена у сортов яровой мягкой пшеницы Новосибирская 15 (среднеранний, $b_i = 1,11$) и Авиада (среднеспелый, $b_i = 1,21$), а у яровой твердой пшеницы – Омский корунд ($b_i = 1,14$). Лучшими по стабильности у яровой мягкой пшеницы были сорта Екатерина (среднеранний, $S_i^2 = 1,20$), Тюменская 29 (среднеспелый, $S_i^2 = 0,03$), а у яровой твердой – Жемчужина Сибири ($S_i^2 = 0,84$). По общей адаптивной способности у яровой мягкой пшеницы выделились сорта Тюменская юбилейная (среднеранний, ОАС = 0,32), Авиада (среднеспелый, ОАС = 0,07), а у яровой твердой – Омский изумруд (ОАС = 0,26). На основе комплексной оценки по урожайности и параметрам адаптивности лучшими сортами яровой мягкой пшеницы признаны Екатерина (среднеранний) и Авиада (среднеспелый), а яровой твердой пшеницы – Омская степная.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L. *Triticum durum* Desf., средняя урожайность, изменчивость урожайности, параметры адаптивности

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: работа выполнена в рамках личной инициативы.

Для цитирования: Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):114-123. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123>

Поступила: 06.03.2020

Принята к публикации: 09.04.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region

© 2020. Valery A. Sapega¹ ✉, Galina Sh. Tursumbekova²

¹Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

²State Agrarian University of Northern Zauria, Tyumen, Russian Federation

The aim of the research is the assessment of 10 varieties of spring soft wheat approved for use, and 5 promising varieties of spring durum wheat of Russian selection according to yield and adaptability parameters for 2015-2018 on the basis of the results of the test carried out in the southern forest steppe zone of the Tyumen region. Productive and adaptive potential of the varieties was determined by the method of L.A. Zhivotkov co-authored, the average yield in contrast conditions – by the equations of A.A. Rossielle, J. Hemblin, the yield variability – by the method of B.A. Dospekhov, the environmental condition index and ecological plasticity of varieties – by S.A. Eberhart, W.A. Russell, the general adaptive ability of the varieties – by the method of A.V. Kilchevsky, L.V. Hotyleva. The strongest variability of indexes of environmental conditions during the years of testing of the varieties was found in middle-early varieties of spring soft wheat, from -1.08 (2017) to 1.26 (2018).

The varieties of spring soft wheat Tyumenskaya Yubileynaya (middle-early, 3.06 t/ha) and Aviada (middle-season, 2.86 t/ha), and of spring durum wheat – Omsky izumrud (3.52 t/ha) were recognized the best in terms of average yield. In the favorable conditions of 2018, on the basis of determination of the percentage of yield of varieties relative to the average among the varieties, the largest productive potential of spring soft wheat varieties was revealed in Tyumenskaya Yubileynaya (middle-early, 111.5 %), Aviada (middle-season, 108.9 %) and spring durum wheat – Omskaya stepnaya (105.7 %). In the unfavorable conditions of 2017, high adaptability was observed in spring soft wheat varieties Ekaterina (middle-early, 118.7%), Ikar (middle-season, 105.0 %) and spring durum wheat – Omskaya stepnaya (105.8 %). Regardless of the specie, all studied varieties had significant yield variability. The most of the varieties were characterized as plastic (b_i is equal to or close to 1). Strong responsiveness to change of conditions is determined in spring soft wheat varieties Novosibirskaya 15 (middle-early, $b_i = 1.11$) and Aviada (middle-season, $b_i = 1.21$), and in spring durum wheat Omsky korund ($b_i = 1.14$). The varieties of spring soft wheat Ekaterina (middle-early, $S_i^2 = 1.20$), Tyumenskaya 29 (middle-season, $S_i^2 = 0.03$) and spring durum wheat Zhemchuzhina Sibiri ($S_i^2 = 0.84$) were the best in terms of stability. The varieties of spring soft wheat Tyumenskaya Yubileynaya (middle-early, $GAA = 0.32$), Aviada (middle-season, $GAA = 0.07$) and the spring durum wheat Omsky izumrud ($GAA = 0.26$) were the best according to the general adaptive ability. The varieties of spring soft wheat Ekaterina (middle-early) and Aviada (middle-season) and spring durum wheat Omskaya stepnaya were recognized as the best on the basis of the complex assessment of yield and adaptability parameters.

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf. average yield, variability of productivity, adaptability parameters

Acknowledgments: the research was carried out on the personal initiative.

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

For citation: Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Yield, ecological plasticity and stability of varieties of spring soft and durum wheat in the southern forest steppe of the Tyumen region. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):114-123. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123>

Received: 06.03.2020

Accepted for publication: 09.04.2020

Published online: 21.04.2020

В структуре площади посева зерновых культур в Сибирском регионе преобладает яровая пшеница, которая возделывается на площади более 6 млн га, что составляет 72 % от площади посева всех зерновых [1]. В Тюменской области в среднем за 2013-2017 гг. площадь посева яровой пшеницы составила 408,9 тыс. га (59,1 % от площади зерновых), а урожайность – 1,92 т/га.

В культуре яровой пшеницы распространено два вида: мягкая (*Triticum aestivum* L.), мука которой характеризуется высокими хлебопекарными качествами, и твердая (*Triticum durum* Desf.) – с повышенным содержанием белка в зерне, используемая для изготовления высококачественных макарон. По сравнению с яровой мягкой пшеницей, яровая твердая предъявляет более высокие требования к плодородию, чистоте и структуре почвы. Она в меньшей степени, чем мягкая пшеница, устойчива к весенним заморозкам, почвенной засухе из-за менее развитой корневой системы, но лучше переносит воздушную засуху¹.

В основе производства растениеводческой продукции лежит сорт, на долю которого в повышении урожайности приходится от 50 до 70 %. При этом значительный вклад в прирост урожайности дают эффекты генотип-средового взаимодействия [2, 3, 4].

Резкая континентальность климата Западной Сибири определяет неустойчивость зерно-

вого производства в данном регионе. Дальнейшее повышение урожайности зерновых культур и, в частности яровой пшеницы, должно базироваться здесь на внедрении сортов, устойчивых к стрессовым факторам [5, 6]. Повышение уровня урожайности и ее стабильности возможно только при одновременном возделывании целого спектра разнообразных по биологическим особенностям, но высокоадаптированных сортов, которые способны обеспечить высокую и устойчивую продуктивность в различных условиях среды [7, 8, 9, 10, 11].

В Западной Сибири в последние годы создан и внедрен в производство целый ряд высокоурожайных сортов яровой пшеницы, но лишь часть из них сочетают высокую урожайность с устойчивостью к стресс-факторам [12]. По Тюменской области на 2018 год допущено к использованию 16 сортов яровой мягкой пшеницы, из них 7 среднеранних и 7 средне-спелых. Сорта яровой твердой пшеницы, допущенных к использованию, не имеется. Небольшой набор ее сортов ежегодно испытывается в условиях южной лесостепи на Бердюжском ГСУ. При решении вопроса о допуске к использованию сортов яровой твердой пшеницы наряду с урожайностью большое внимание уделяется показателям качества зерна, которые не всегда соответствуют требуемым стандартам, что и сдерживает допуск сортов к использованию.

¹Растениеводство. Г. С. Посыпанов [и др.]. М.: КолоС, 2006. 612 с.

В связи с вышеизложенным актуальным является комплексная оценка сортов как в селекционном процессе, так и госсортоиспытании по урожайности и параметрам адаптивности. Впервые в условиях южной лесостепи Тюменской области проведена сравнительная оценка сортов яровой мягкой и твердой пшеницы по урожайности, экологической пластичности и общей адаптивной способности.

Цель исследования – дать комплексную оценку сортам яровой мягкой пшеницы различных групп спелости, сортам яровой твердой пшеницы по урожайности и параметрам адаптивности на основе результатов их испытания в различные по условиям годы, и выделить лучшие сорта в условиях южной лесостепи Тюменской области.

Материал и методы. Объект исследования – 5 среднеранних и 5 среднеспелых допущенных к использованию сортов яровой мягкой пшеницы, 5 перспективных сортов яровой твердой пшеницы, которые испытывались в 2015-2018 гг. в условиях южной лесостепи Тюменской области (IV зона, Бердюжский ГСУ)². По продолжительности вегетационного периода (в среднем за 2015-2018 гг. – 77 сут) мы относим сорта яровой твердой пшеницы к группе среднеспелых (у среднеспелых сортов яровой мягкой пшеницы – 78 сут). В связи с этим при анализе результатов исследования мы будем характеризовать сорта в разрезе двух групп спелости только яровой мягкой пшеницы. Равное количество сортов разных групп взято для исследования с целью повышения достоверности оценки показателей при сравнительной характеристике сортов.

Предшественник в годы испытания – чистый пар. Учетная площадь делянки – 25 м², повторность – 4-кратная, размещение сортов в опыте – рендомизированное. Срок посева – 2-3 декады мая. Норма высева сортов яровой мягкой и твердой пшеницы – 6 млн всх. семян на 1 га. Элементы технологии – общеприняты при возделывании яровой пшеницы в данной природно-климатической зоне. Они разработаны и рекомендованы научно-исследовательскими учреждениями региона и используются в госсортоиспытании как оптимальные для условий данной зоны.

Оценку продуктивного и адаптивного потенциала сортов яровой пшеницы определяли по методике Л. А. Животкова с соавт. [13], среднюю урожайность в контрастных условиях – по уравнениям А. А. Rossielle, J. Hemblin [14] в изложении А. А. Гончаренко [8]. Изменчивость урожайности определяли по методике Б. А. Доспехова³, а индексы условий среды (I_j), экологическую пластичность и стабильность сортов – на основе математической модели S. A. Eberhart, W. A. Russell [15]. Общую адаптивную способность (ОАС) сортов яровой пшеницы определяли по методике А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой [16].

Результаты и их обсуждение. Индексы условий среды в годы испытания сортов характеризовались значительной вариабельностью. Независимо от видовой принадлежности и групп спелости наиболее благоприятные условия для роста и развития сортов яровой пшеницы сложились в 2018 г. (индексы условий от 0,92 – яровая твердая пшеница до 1,26 – среднеранние сорта, яровая мягкая пшеница) (табл. 1). Неблагоприятные условия разного уровня, согласно величине индекса, отмечены в 2015, 2016 и 2017 гг. Наиболее жесткими они были в 2017 г. (индекс условий от -0,81 до -1,08 (соответственно среднеспелые и среднеранние сорта яровой мягкой пшеницы).

Характер таких условий сказался на значительной вариабельности урожайности как отдельных сортов, так и среднесортowej урожайности, что является следствием их недостаточной экологической устойчивости. Так, урожайность среднераннего сорта яровой мягкой пшеницы Новосибирская 15 варьировала от 1,31 т/га (2017 г., индекс условий -1,08) до 3,98 т/га (2018 г., 1,26), а среднесортowej урожайность той же группы спелости сортов яровой мягкой пшеницы варьировала от 1,66 т/га (2017 г.) до 4,00 т/га (2018 г.), т. е. она превысила уровень 2017 г. на 2,34 т/га.

В неблагоприятный по погодным условиям год самой низкой урожайностью характеризовались сорта яровой мягкой пшеницы в группе среднеранних – Новосибирская 15 (1,31 т/га), среднеспелых – Омская 36 (1,86 т/га), яровой твердой пшеницы – Омский корунд (2,30 т/га) (табл. 1).

² Выдрин В. В., Федорук Т. К. Сортовое районирование сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания по Тюменской области за 2018 год. Тюмень: Тюменский издательский дом, 2018. 91 с.

³ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING**

Таблица 1 – Оценка урожайности сортов яровой мягкой и твердой пшениц /
Table 1 – Assessment of yield of spring soft and durum wheat varieties

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha					Доля урожайности относительно среднесортной урожайности, % / Percentage of yield relative to the average among the varieties, %			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	$\bar{x}$	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Яровая мягкая пшеница (среднеранние сорта) / Spring soft wheat (middle-early varieties)									
Екатерина / Ekaterina	3,08	2,66	1,97	4,11	2,96	112,0	105,6	118,7	102,8
Ирень / Iren'	2,87	2,38	1,60	3,54	2,60	104,4	94,4	96,4	88,5
Новосибирская 15 / Novosibirskaya 15	2,30	2,33	1,31	3,98	2,48	83,6	92,5	78,9	99,5
Новосибирская 31 / Novosibirskaya 31	2,72	2,17	1,49	3,92	2,58	98,9	86,1	89,8	98,0
Тюменская юбилейная / Tyumenskaya yubileynaya	2,79	3,06	1,92	4,46	3,06	101,4	121,4	115,7	111,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,20	0,19	0,17	0,20	-	-	-	-	-
Среднесортная урожайность, т/га / Average yield among the varieties, t/ha	2,75	2,52	1,66	4,00	2,74	100,0	100,0	100,0	100,0
Индекс условий среды (I _j) / Index of conditions of the environment (I _j)	0,01	-0,22	-1,08	1,26	-	-	-	-	-
Яровая мягкая пшеница (среднеспелые сорта) / Spring soft wheat (middle-season varieties)									
Авиада / Aviada	2,67	2,62	1,97	4,16	2,86	97,8	99,6	99,5	108,9
Икар / Ikar	2,90	2,70	2,08	3,65	2,83	106,2	102,7	105,0	95,5
Омская 36 / Omskaya 36	2,55	2,72	1,86	3,82	2,74	93,4	103,4	93,9	100,0
Тюменская 29 / Tyumenskaya 29	2,67	2,54	1,94	3,73	2,72	97,8	96,6	98,0	97,6
Чернява 13 / Chernyava 13	2,88	2,57	2,04	3,74	2,81	105,5	97,7	103,0	97,9
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,21	0,20	0,19	0,21	-	-	-	-	-
Среднесортная урожайность, т/га / Average yield among the varieties t/ha	2,73	2,63	1,98	3,82	2,79	100,0	100,0	100,0	100,0
± к среднесортной урожайности среднеранних сортов, т/га / ± to average yield of middle-early varieties), t/ha	-0,02	0,11	0,32	-0,18	-	-	-	-	-
Индекс условий среды (I _j) / Index of conditions of the environment (I _j)	-0,06	-0,16	-0,81	1,03	-	-	-	-	-
Яровая твердая пшеница / Spring durum wheat									
Жемчужина Сибири / Zhemchuzhina Sibiri	3,41	2,86	2,39	4,20	3,22	95,8	99,6	98,8	100,5
Омский изумруд / Omskiy izumrud	4,20	3,54	2,47	3,87	3,52	118,0	123,3	102,1	92,6
Омский корунд / Omskiy korund	3,50	2,50	2,30	4,24	3,14	98,3	87,1	95,0	101,4
Омская степная / Omskaya stepnaya	3,40	2,96	2,56	4,42	3,34	95,5	103,1	105,8	105,7
Омская янтарная / Omskaya yantarnaya	3,29	2,51	2,39	4,16	3,09	92,4	87,4	98,8	99,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,23	0,20	0,18	0,22	-	-	-	-	-
Среднесортная урожайность, т/га / Average yield, among the varieties t/ha	3,56	2,87	2,42	4,18	3,26	100,0	100,0	100,0	100,0
± к среднесортной урожайности, т/га / ± to average yield, t/ha:									
среднеранних сортов / middle-early varieties,	0,81	0,35	0,76	0,18	-	-	-	-	-
среднеспелых сортов / middle-season varieties	0,83	0,24	0,44	0,36	-	-	-	-	-
Индекс условий среды (I _j) / Index of conditions of the environment (I _j)	0,30	-0,39	-0,84	0,92	-	-	-	-	-

Нами выявлен высокий потенциал урожайности большинства изученных сортов. Наиболее высокая урожайность яровой мягкой пшеницы отмечена у сортов Тюменская юбилейная (среднеранний, 4,46 т/га) и Авиада (среднеспелый, 4,16 т/га), яровой твердой – Омская степная (4,42 т/га).

Наиболее высокой средней урожайностью за 2015-2018 гг. у среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы характеризовался Тюменская юбилейная (3,06 т/га), у среднеспелых – Авиада (2,86 т/га), а яровой твердой пшеницы – Омский изумруд (3,52 т/га) (табл. 1). Низкая средняя урожайность яровой пшеницы соответствующих групп отмечена у сортов Новосибирская 15 (2,48 т/га), Тюменская 29 (2,72 т/га) и Омская янтарная (3,09 т/га).

Сравнение среднесортowej урожайности яровой мягкой пшеницы различных групп спелости в годы с различным характером условий показало, что в худших (по индексу) условиях 2016 и 2017 гг. среднеранние сорта уступали среднеспелым соответственно на 0,11 и 0,32 т/га, а в благоприятных условиях 2018 г. более высокая урожайность отмечена у среднеранних сортов (4,00 т/га). В условиях, близких к среднепогодным показателям погодных условий по температурному режиму и сумме осадков вегетационного периода, что соответствует 2015 г., среднесортowej урожайность яровой мягкой пшеницы двух групп спелости находилась практически на одном уровне (2,75 т/га среднеранние сорта и 2,73 т/га среднеспелые сорта) (табл. 1).

Среднесортowej урожайность яровой твердой пшеницы, по данным наших исследований, превысила таковую урожайность как среднеранних, так и среднеспелых сортов яровой мягкой пшеницы. Особенно значительное превышение среднесортowej урожайности выявлено в 2015 г., в условиях близких к средним многолетним показателям погодных условий – на 0,81 т/га по сравнению со среднеранними сортами и на 0,83 т/га – среднеспелыми. Более высокой среднесортowej урожайностью яровая твердая пшеница, по сравнению с мягкой, характеризовалась также и в неблагоприятных по индексу условиях 2016 и 2017 гг.

По величине средней урожайности в опыте лучшими были сорта яровой твердой пшеницы (3,26 т/га), а урожайность среднеранних и среднеспелых сортов яровой мягкой пшеницы находилась на одном уровне

(2,74 т/га среднеранние сорта и 2,79 т/га среднеспелые) (табл. 1).

Ценной характеристикой сортов в процессе их испытания является оценка потенциала урожайности в благоприятных условиях и уровня адаптивности – в жестких путем определения доли урожайности сорта в сравнении со среднесортowej урожайностью [13].

По данным наших исследований, в наиболее благоприятных условиях 2018 г. лучшими по потенциалу урожайности яровой мягкой пшеницы были сорта Тюменская юбилейная (среднеранний, 111,5 %) и Авиада (среднеспелый, 108,9 %), а яровой твердой – Омская степная (105,7 %). В наиболее неблагоприятных условиях 2017 г. высоким потенциалом адаптивности у яровой мягкой пшеницы характеризовались сорта Екатерина (среднеранний, 118,7 %) и Икар (среднеспелый, 105,0 %), а у яровой твердой – Омская степная (105,8 %) (табл. 1). Наиболее ценными при данной оценке будут те сорта, которые одновременно сочетают высокий потенциал продуктивности и адаптивности в контрастных условиях среды. Такой характеристике соответствуют только три сорта из 15-ти изученных – Екатерина, Тюменская юбилейная (среднеранние сорта, яровая мягкая пшеница) и Омская степная (яровая твердая пшеница). У этих же сортов отмечена и наиболее высокая средняя урожайность за 2015-2018 гг. (соответственно 2,96; 3,06 и 3,34 т/га).

В последние годы темпы сортосмены в целом по стране, а также в отдельных регионах возрастают. Так, в Тюменской области за период 1929-2015 гг. произошло шесть сортосмен яровой мягкой пшеницы, каждая из которых обеспечила прирост урожайности на 0,22 т/га [17].

Валовые сборы зерна растут, но медленными темпами и не во всех регионах как следствие недостаточной реализации генетического потенциала сортов, даже в благоприятные годы, из-за низкой их адаптивности. В контрастных условиях среды важна генетическая гибкость сортов, их компенсаторная способность, показателем которой является средняя урожайность в стрессовых и нестрессовых условиях [8]. При оценке яровой мягкой пшеницы за период 2015-2018 гг. лучшим по данному параметру среднеранним сортом был Тюменская юбилейная (3,19 т/га), среднеспелым – Авиада (3,06 т/га), а у яровой

твердой пшеницы – Омская степная (3,49 т/га (табл. 2). Эти же сорта характеризовались и наибольшей максимальной и средней урожайностью. Сорта яровой твердой пшеницы по средней урожайности в контрастных

условиях превышали как среднеранние, так и среднеспелые сорта яровой мягкой пшеницы, что согласуется с вышеприведенным анализом среднесортной урожайности и средней урожайности в опыте.

Таблица 2 – Параметры адаптивности сортов яровой мягкой и твердой пшеницы, 2015-2018 гг. /
Table 2 – Adaptability parameters of spring soft and durum wheat varieties, 2015-2018

<i>Сорт /</i> <i>Variety</i>	<i>Средняя</i> <i>урожайность в</i> <i>контрастных</i> <i>условиях, т/га</i> <i>(Y₁ + Y₂)/2 /</i> <i>Average yield</i> <i>in contrast condi-</i> <i>tions, t/ha</i>	<i>Изменчивость</i> <i>урожайности</i> <i>(коэффициент</i> <i>вариации, C_v), % /</i> <i>Yield variability</i> <i>(coefficient of vari-</i> <i>ation C_v), %</i>	<i>Пластичность</i> <i>(коэффициент</i> <i>регрессии, b_i) /</i> <i>Plasticity</i> <i>(regression</i> <i>coefficient, b_i)</i>	<i>Стабиль-</i> <i>ность</i> <i>(дисперсия,</i> <i>S_i²) /</i> <i>Stability</i> <i>(dispersion,</i> <i>S_i²)</i>	<i>Общая</i> <i>адаптивная</i> <i>способность</i> <i>(OAC) /</i> <i>general adap-</i> <i>tive ability</i> <i>(GAA)</i>
Яровая мягкая пшеница (среднеранние сорта) / Spring soft wheat (middle-early varieties)					
Екатерина / Ekaterina	3,04	30,4	0,89	1,20	0,22
Ирень / Iren'	2,57	31,5	0,80	4,68	-0,14
Новосибирская 15 / Novosibirskaya 15	2,64	44,8	1,11	25,83	-0,26
Новосибирская 31 / Novosibirskaya 31	2,70	39,9	1,03	2,56	-0,16
Тюменская юбилейная / Tyumenskaya yubileynaya	3,19	34,3	1,04	6,99	0,32
Яровая мягкая пшеница (среднеспелые сорта) / Spring soft wheat (middle-season varieties)					
Авида / Avlada	3,06	32,5	1,21	1,38	0,07
Икар / Ikar	2,86	23,0	0,84	1,09	0,04
Омская 36 / Omskaya 36	2,84	29,6	1,05	2,02	-0,05
Тюменская 29 / Tyumenskaya 29	2,84	27,2	0,98	0,03	-0,07
Чернява 13 / Chernyava 13	2,89	25,3	0,92	1,29	0,02
Яровая твердая пшеница / Spring durum wheat					
Жемчужина Сибири / Zhemchuzhina Sibiri	3,30	24,2	0,98	0,84	-0,34
Омский изумруд / Omskiy izumrud	3,34	21,3	0,76	29,78	0,26
Омский корунд / Omskiy korund	3,27	28,7	1,14	2,86	-0,12
Омская степная / Omskaya stepnaya	3,49	24,0	0,99	4,46	0,08
Омская янтарная / Omskaya yantarnaya	3,28	26,5	1,02	4,35	-0,17

Изменчивость урожайности, выраженная через коэффициент вариации, значительная у всех сортов независимо от видовой принадлежности. Наиболее высокий ее уровень выявлен у среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы – от 30,4 % (Екатерина) до 44,8 % (Новосибирская 15) (табл. 2). Наименьшая вариабельность урожайности в среднем за 2015-2018 гг. в группе среднеранних выявлена

у сорта яровой мягкой пшеницы Екатерина (30,4 %), среднеспелых – Икар (23,0 %) и яровой твердой пшеницы – Омский изумруд (21,3 %).

При оценке сортов согласно модели S. A. Eberhart, W. A. Russell [15] определяли их пластичность (коэффициент регрессии), отражающую отзывчивость сортов на изменение условий, и стабильность (дисперсия относительно коэффициента регрессии).

Большинство изученных сортов яровой мягкой и твердой пшеницы характеризовались как пластичные (коэффициент регрессии равный и близкий единице) – Новосибирская 31, Тюменская юбилейная, Омская 36, Тюменская 29, Черныя 13, Жемчужина Сибири, Омская степная, Омская янтарная. Изменение урожайности данных сортов полностью соответствует изменению условий выращивания. Они лучше адаптированы к разнообразным условиям среды (табл. 2).

Сильная отзывчивость на изменение условий ($b_i \geq 1$) отмечена у сортов яровой мягкой пшеницы Новосибирская 15 (среднеранний, $b_i = 1,11$) и Авида (среднеспелый, $b_i = 1,21$), яровой твердой пшеницы – Омский корунд ($b_i = 1,14$). Такая реакция на условия среды позволила им сформировать высокую среднюю урожайность. Эти сорта относятся к группе интенсивных, которые максимально реализуют свой генетический потенциал в благоприятных агрометеорологических условиях и при высоком уровне культуры земледелия. Вместе с тем, они значительно снижают урожайность в неблагоприятных условиях, что приводит к ее значительной вариабельности, которая подтверждается представленными коэффициентами вариации.

Сорта яровой мягкой пшеницы Екатерина, Ирень (среднеранние), Икар (среднеспелый) и Омский изумруд (яровая твердая пшеница), слабо отзывчивые на изменение условий ($b_i < 1$). Это сорта полуинтенсивного типа. Они более эффективны при их возделывании на сравнительно низких агрофонах и в природно-климатических зонах с жестким характером агрометеорологических условий, так как в меньшей степени снижают свою урожайность по сравнению с интенсивными сортами.

При разграничении изучаемых сортов по реакции на изменение условий среды нами проверена нулевая гипотеза о равенстве коэффициента регрессии единице. Во всех случаях в наших исследованиях $t_{\phi} < t_{05}$, т. е. полученные данные не противоречат гипотезе о равенстве единице генерального коэффициента регрессии.

Показатель стабильности сильно варьирует в пределах изученных групп сортов и, особенно, среднеранних. В целом более высокие показатели стабильности отмечены у среднеспелых сортов яровой мягкой пшеницы (табл. 2). Лучшими по стабильности у яро-

вой мягкой пшеницы были среднеранний сорт Екатерина ($S_i^2 = 1,20$) и среднеспелый Тюменская 29 ($S_i^2 = 0,03$), у яровой твердой пшеницы – Жемчужина Сибири ($S_i^2 = 0,84$). Очень низкая стабильность выявлена у двух сортов – среднераннего яровой мягкой пшеницы Новосибирская 15 ($S_i^2 = 25,83$) и сорта яровой твердой пшеницы Омский изумруд ($S_i^2 = 29,78$), в первую очередь, как следствие резкого снижения урожайности в жестких, согласно индексу, условиях 2017 г. Следует отметить, что нет прямой зависимости при сравнении показателя стабильности со средней урожайностью сортов в контрастных условиях, ее изменчивостью и отзывчивостью сортов на изменение условий. Это указывает на то, что данные параметры контролируются различными генетическими системами, а также на то, что, в частности, такой важный статистический параметр, как коэффициент вариации, не может быть абсолютным мерилем при оценке стабильности урожайности сортов в селекционном процессе и сортоиспытании.

Общая адаптивная способность (ОАС) сортов характеризует их способность формировать высокий уровень урожайности в разнообразных условиях среды [16]. У большинства изученных нами сортов, независимо от их видовой принадлежности, данный показатель характеризуется низкой величиной. Наиболее высокие значения ОАС сортов яровой мягкой пшеницы в группе среднеранних отмечены у Тюменская юбилейная (ОАС = 0,32), среднеспелых – Авида (ОАС = 0,07), яровой твердой пшеницы – Омский изумруд (ОАС = 0,26) (табл. 2). У данных сортов средняя урожайность за 2015-2018 гг. выше средней урожайности в опыте. Среди выделенных сортов с высоким показателем общей адаптивной способности наибольшую ценность представляет Омский изумруд, так как у данного сорта высокое значение ОАС сочетается со сравнительно высокой урожайностью в годы испытания и низкой ее изменчивостью. Наиболее низкие значения ОАС сортов яровой мягкой пшеницы выявлены у Новосибирская 15 (среднеранний, ОАС = -0,26), Тюменская 29 (среднеспелый, ОАС = -0,07), яровой твердой пшеницы – Омская янтарная (ОАС = -0,17).

Комплексная оценка сортов по урожайности и параметрам адаптивности за 2015-2018 гг. позволила заключить, что лучшими

сортами яровой мягкой пшеницы были Екатерина (среднеранний) и Авида (среднеспелый), яровой твердой пшеницы – Омская степная.

Выводы.

1. Наиболее высокой как средней урожайностью за 2015-2018 гг., так и средней урожайностью в контрастных условиях у яровой мягкой пшеницы характеризовался среднеранний сорт Тюменская юбилейная (соответственно 3,06 и 3,19 т/га) и среднеспелый – Авида (соответственно 2,86 и 3,06 т/га).

2. У яровой твердой пшеницы лучшим по средней урожайности был сорт Омский изумруд (3,52 т/га), а по средней урожайности в контрастных условиях – Омская степная (3,49 т/га).

3. В наиболее благоприятном, исходя из индекса условий, 2018 г. высокий потенциал урожайности в сравнении со среднесортовой урожайностью яровой мягкой пшеницы отмечен у сортов Тюменская юбилейная (среднеранний, 111,5 %) и Авида (среднеспелый, 108,9 %), а яровой твердой пшеницы – Омская степная (105,7 %).

4. В наиболее жестких, исходя из индекса условий, 2017 г. высокая адаптивность выявлена у сортов яровой мягкой пшеницы Екатерина (среднеранний, 118,7 %) и Икар (среднеспелый, 105,0 %), яровой твердой пшеницы – Омская степная (105,8 %).

5. Изменчивость урожайности сортов значительная независимо от изученных видов яровой пшеницы. Наименьший ее уровень

отмечен у сортов яровой мягкой пшеницы Екатерина (среднеранний, 30,4 %), Икар (среднеспелый, 23,0 %), яровой твердой пшеницы – Омский изумруд (21,3 %).

6. Большинство изученных сортов характеризовались как пластичные, изменение урожайности у которых полностью соответствует изменению условий выращивания (b_i равный и близкий единице).

7. Интенсивными сортами, сильно отзывчивыми на изменение условий ($b_i > 1$), признаны у яровой мягкой пшеницы Новосибирская 15 (среднеранний, $b_i = 1,11$) и Авида (среднеспелый, $b_i = 1,21$), а у яровой твердой пшеницы – Омский корунд ($b_i = 1,14$).

8. По стабильности лучшими сортами яровой мягкой пшеницы были Екатерина (среднеранний, $S_i^2 = 1,20$), Тюменская 29 (среднеспелый, $S_i^2 = 0,03$), яровой твердой пшеницы – Жемчужина Сибири ($S_i^2 = 0,84$).

9. Высокой общей адаптивной способностью характеризовались сорта яровой мягкой пшеницы Тюменская юбилейная (среднеранний, ОАС = 0,32), Авида (среднеспелый, ОАС = 0,07), яровой твердой пшеницы – Омский изумруд (ОАС = 0,26).

10. Исходя из комплексной оценки сортов по урожайности и параметрам адаптивности лучшими за 2015-2018 гг. признаны сорта яровой мягкой пшеницы – среднеранний Екатерина и среднеспелый Авида, а у яровой твердой пшеницы – Омская степная.

Список литературы

1. Юшкевич Л. В., Щитов А. Г., Егорова Н. И., Штро Е. В. Совершенствование технологии возделывания ячменя в лесостепи Западной Сибири. Земледелие. 2013; (2): 26-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18849346>
2. Драгавцев В. А., Драгавцева И. А., Ефимова И. Л., Моринец А. С., Савин И. Ю. Управление взаимодействием «генотип-среда» – важнейший рычаг повышения урожая сельскохозяйственных растений. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016;(2(59)):105-121.
3. Новохатин В. В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур. Достижения науки и техники АПК. 2018;(32(9)):40-47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36328730>
4. Dopierala P., Kordas L. The effects of genotype – environment interaction on the yield and its structure in some winter cereals. Biul. Inst. Hodowli Aklimat. Rosl. 2009;(253):165-173.
5. Агеева Е. В., Лихенко И. Е., Советов В. В. Оценка экологической пластичности сортообразцов мягкой яровой пшеницы питомника Казахстанско-Сибирской сети СИММИТ. Достижения науки и техники АПК. 2018;(32(11)):26-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36730419>
6. Сапега В. А. Урожайность, реализация ее потенциала и адаптивность сортов яровой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2017;(31(10)):49-52. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32301698>
7. Жученко А. А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства. Пушино: Отдел НТИ ПНЦ РАН. 1994. 148 с.
8. Гончаренко А. А. Об адаптивной способности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник Россельхозакадемии. 2005; (6): 49-53.

9. Ayaleh T., Letta T., Abinasa M. Assessment of stability, adaptability and yield performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in South Eastern Ethiopia. *Plant Breeding and Seed Science*. 2013;67(1):3-11. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10129-011-0065-3>
10. Protic R., Todorovic G., Protic N., Djordjevic R., Vicentijevic D., Delic D., Kopanja M., Prodanovic R. Effect of genotype x environment interaction on grain yield of winter wheat varieties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2013;19(4):697-700. URL: <https://agrojournal.org/19/04-11.pdf>
11. Hassan M. S., Mohamed G. I. A., El-Said R. A. R. Stability analysis for grain yield and its components of some durum wheat genotypes (*Triticum durum* L.) under different environments. *Asian Journal of Crop science*. 2013;5: 179-189. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.179.189>
12. Андреева З. В., Цильке Р. А. Влияние экологических факторов на реализацию генетического потенциала сортов мягкой яровой пшеницы в Западной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2008;(6):27-32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12533640>
13. Животков Л. А., Морозова З. А., Секагуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6.
14. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. *Crop. Sci*. 1981; (21(6)): 27-29.
15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci*. 1966; (6(1)): 36-40.
16. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія. 1997. 372 с.
17. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В. Рост урожайности яровой мягкой пшеницы в Северном Зауралье. *Вестник Российской сельскохозяйственной академии*. 2014;(4):14-17.

References

1. Yushkevich L. V., Shchitov A. G., Egorova N. I., Shtro E. V. *Sover-shenstvovanie tekhnologii vozdeleyvaniya yachmenya v lesostepi Zapadnoy Sibiri*. [Improvement of the technology of barley cultivation in forest-steppe zone of Western Siberia]. *Zemledelie*. 2013; (2): 26-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18849346>
2. Dragavtsev V. A., Dragavtseva I. A., Efimova I. L., Morinets A. S., Savin I. Yu. *Upravlenie vzaimodeystviem «genotip-sreda» – vazhneyshiy ryuchag povysheniya urozhayev sel'skokhozyaystvennykh rasteniy*. [Control of «genotype-environment» interaction is the most important way for increasing the yields of cultivated plants]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;(59):105-121. (In Russ.).
3. Novokhatin V. V. *Nauchnoe obosnovanie pervichnogo i elitnogo semenovodstva zernovykh kul'tur*. [Scientific Substantiation of Primary and Elite Seed-Growing of Cereals]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;(32(9)):40-47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36328730>
4. Dopierala P., Kordas L. The effects of genotype – environment interaction on the yield and its structure in some winter cereals. *Biul. Lnst. Hodowli Aklimat. Rosl*. 2009;(253):165-173.
5. Ageeva E. V., Likhnenko I. E., Sovetov V. V. *Otsenka ekologicheskoy plastichnosti sortoobraztsov myagkoy yarovoy pshenitsy pitomnika Kazakh-stansko-Sibirskoy seti SIMMIT*. [Evaluation of Environmental Plasticity of Spring Soft Wheat Samples from the Nursery of the Kazakhstan-Siberian Network of CIMMYT]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;(32(11)):26-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36730419>
6. Sapega V. A. *Urozhaynost', realizatsiya ee potentsiala i adaptivnost' sortov yarovoy pshenitsy*. [Productivity, Realization of Potential of Spring Wheat Varieties and Their Adaptability]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2017;(31(10)):49-52. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32301698>
7. Zhuchenko A. A. *Strategiya adaptivnoy intensifikatsii sel'skogo khozyaystva*. [Strategy of adaptive intensification of agriculture]. Pushchino: *Otdel NTI PNTs RAN*, 1994. 148 p.
8. Goncharenko A. A. *Ob adaptivnoy sposobnosti i ekologicheskoy ustoychivosti sortov zernovykh kul'tur*. [On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties]. *Vestnik Rossel'khozakademii*. 2005; (6): 49-53. (In Russ.).
9. Ayaleh T., Letta T., Abinasa M. Assessment of stability, adaptability and yield performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in South Eastern Ethiopia. *Plant Breeding and Seed Science*. 2013;67(1):3-11. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10129-011-0065-3>
10. Protic R., Todorovic G., Protic N., Djordjevic R., Vicentijevic D., Delic D., Kopanja M., Prodanovic R. Effect of genotype x environment interaction on grain yield of winter wheat varieties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2013;19(4):697-700. URL: <https://agrojournal.org/19/04-11.pdf>

11. Hassan M. S., Mohamed G. I. A., El-Said R. A. R. Stability analysis for grain yield and its components of some durum wheat genotypes (*Triticum durum* L.) under different environments. *Asian Journal of Crop science*. 2013;5: 179-189. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.179.189>
12. Andreeva Z. V., Tsil'ke R. A. *Vliyanie ekologicheskikh faktorov na realizatsiyu geneticheskogo potentsiala sortov myagkoy yarovoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri*. [The influence of environmental factors on the real genetic potential of soft spring wheat varieties in Western Siberia]. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2008;(6):27-32. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12533640>
13. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. *Metodika vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu «urozhaynost'»*. [Method to identify of productivity potential and adaptability of the varieties and breeding forms of winter wheat in terms of «yield»]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1994;(2):3-6. (In Russ.).
14. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. *Crop. Sci*. 1981; (21(6)): 27-29.
15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci*. 1966; (6(1)): 36-40.
16. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. *Ekologicheskaya selektsiya rasteniy*. [Ecological plant breeding]. Minsk: *Tekhnologia*, 1997. 372 p.
17. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V. *Rost urozhaynosti yarovoy myagkoy pshenitsy v Severnom Zaural'e*. [Growth of cropping power of common spring wheat in Northern Transurals]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2014;(4):14-17.

Сведения об авторах

✉ **Сапега Валерий Антонович**, доктор с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», ул. Володарского, 38, Тюмень, Тюменская область, Российская Федерация, 625000, e-mail: general@tyuiu.ru, e-mail: sapegavalerii@rambler.ru

Турсумбекова Галина Шалкаровна, доктор с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», ул. Республики, 7, Тюмень, Тюменская область, Российская Федерация, 625003, e-mail: acadagro@mail.ru, e-mail: galina_tursumbekova@rambler.ru

Information about authors

✉ **Valery A. Sapega**, DSc in Agricultural Science, professor, Tyumen Industrial University, Volodarsky St., 38, Tyumen, Tyumen region, Russian Federation, 625000, e-mail: general@tyuiu.ru, e-mail: sapegavalerii@rambler.ru

Galina Sh. Tursumbekova, DSc in Agricultural Science, professor, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Respubliki street, 7, Tyumen, Tyumen region, Russian Federation, 625003, e-mail: acadagro@mail.ru, e-mail: galina_tursumbekova@rambler.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет

© 2020. Л. М. Щеклеина ✉

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

Проведен анализ фитосанитарной ситуации в производственных и селекционно-семеноводческих посевах озимой ржи в Кировской области за период с 1999 по 2018 год для корректировки задач селекции на устойчивость к наиболее вредоносным болезням. Оценивали поражение посевов (распространение болезни), развитие болезни и площадь пораженных посевов от количества обследованных. Тренд развития болезней устанавливали на основании регрессионного анализа многолетних данных филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Кировской области. Установлено ежегодное (100 %) проявление снежной плесени и спорыньи. Далее по частоте проявления идут корневые гнили и бурая ржавчина – 95 %, мучнистая роса – 75 %, склеротиния – 70 %, фузариоз колоса – 70 %, стеблевая ржавчина – 50 %. Относительно низкая частота проявления отмечена у септориоза и ринхоспориоза – 35 и 30 %. Однако с учётом развития болезней ржи, превышающих экономический порог вредоносности (ЭВП), изучаемые патоккомплексы имеют разную опасность. Так, развитие бурой ржавчины выше ЭВП диагностировано 13 раз за 19 лет. Наиболее сильное развитие болезни (20,0-52,0 %) отмечено в 2001, 2005, 2009 и 2010 гг., слабое – в 2007 г. (0,8 %), 2017 г. (1,4 %), 2015 г. (2,4 %) и 2011 г. (5,0 %). Проявление мучнистой росы выше ЭВП наблюдали 6 раз за 15 лет; развитие болезни было на уровне 13,0-53,0 %. Развитие септориоза выше ЭВП диагностировали 6 раз за 7 лет при развитии болезни от 13,5 до 63,0 %, стеблевой ржавчины выше ЭВП диагностировали 5 раз за 10 лет при состоянии признака 15,0-20,0 %. Показана цикличность распространения наиболее вредоносных болезней и тренды их изменения в агроценозах озимой ржи. Таким образом, к наиболее эпифитотийно опасным болезням относятся: снежная плесень, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина, мучнистая роса и септориоз. Постоянный контроль требуется также по отношению к спорынье и фузариозу колоса. Указанные болезни озимой ржи должны быть объектом селекционно-иммунологических исследований.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., фитосанитарный анализ, уровень развития болезней, частота проявления, экономический порог вредоносности.

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0095).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щеклеина Л. М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):124-132.
<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132>

Поступила: 11.03.2020

Принята к публикации: 09.04.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Monitoring of winter rye diseases in Kirov region and possible trends of breeding for immunity

© 2020. Lucia M. Shchekleina ✉

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

The analysis of the phytosanitary situation in production, selection and seed crops of winter rye in Kirov region for the period from 1999 to 2018 was carried out in order to adjust the tasks of breeding for resistance to the most harmful diseases. The affection of the sowings (spread of the disease), the development of the disease and the area of the affected crops relative to the number of the examined ones were evaluated. The trend in the development of the diseases was established on the basis of a regression analysis of long-term data of the branch of the FSBI Rosselkhozcentr in Kirov region. The annual (100 %) manifestation of snow mold and ergot has been established. Next according to the frequency of manifestation there are root rots and brown rust – 95 %, powdery mildew – 75 %, sclerotinia – 70 %, Fusarium head blight – 70 %, and stem rust – 50 %. A relatively low frequency of manifestation has been observed with septoriose and rhynchosporium – 35 and 30 %. However, taking into account the development of winter rye diseases which exceed the economic threshold of harmfulness (ETH), the studied pathocomplexes have different levels of danger. Thus, the development of brown rust above ETH was diagnosed 13 times within 19 years. The most severe disease development (20.0-52.0 %) was in 2001, 2005, 2009, and 2010; weak - in 2007 (0.8 %), 2017 (1.4 %), 2015 (2.4 %), and 2011 (5 %). The manifestation of powdery mildew above ETH was observed 6 times within 15 years, disease development was at the level of 13.0-53.0 %. The development of septoriose above ETH was diagnosed 6 times within 7 years with the development of disease from 13.5 to 63.0 %. Development of stem rust above ETH was diagnosed 5 times within 10 years with the status of the sign of 15.0-20.0 %. The cyclicity of spread of the most harmful diseases and trends of their change in agroecosystems of winter rye are shown. Thus, the most epiphytotically dangerous diseases

es include snow mold, brown rust, stem rust, powdery mildew and septoriose. Constant control is also required in relation to ergot and *Fusarium* head blight. These diseases should be an object for breeding-and-immunological studies.

Keywords: *Secale cereale* L., phytosanitary analysis, level of disease development, frequency of manifestation, economic threshold of harmfulness

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No.0767-2019-0095).

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

For citations: Shchekleina L. M. Monitoring of winter rye diseases in Kirov region and possible trends of breeding for immunity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):124-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132>

Received: 11.03.2020

Accepted for publication: 09.04.2020

Published online: 21.04.2020

Озимая рожь – важная зерновая культура в мировом земледелии. Уникальность её заключается в высокой зимо- и морозостойкости, выносливости к выпреванию, почвенной засухе, алюмо- и кислотоустойчивости, способности произрастать на низкоплодородных почвах, сдерживать развитие сорных растений, защищать почву от эрозии, улучшать структуру почвы и созревать раньше других зерновых культур [1, 2, 3, 4, 5, 6].

В Кировской области озимая рожь исторически занимала особое место среди продовольственных зерновых культур. Сейчас посевные площади этой культуры составляют в стране менее 1 млн га [7].

В связи с потеплением климата и специфическими региональными природными факторами (пониженная температура в летний и зимний периоды, продолжительная много-снежная зима, относительно низкое плодородие почв и повышенная их кислотность) создаются благоприятные условия для усиления развития и вредоносности возбудителей грибных болезней. Поэтому одной из основных задач селекционного улучшения данной культуры является повышение устойчивости к болезням. Наиболее распространёнными болезнями озимой ржи в нашей области являются: снежная плесень (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels Hallett), склеротиния (*Sclerotinia graminearum* Elen.), корневые гнили (*Fusarium* Link.: *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc, *F. sporotrichioides* Sherb. и др.), фузариоз колоса (*Fusarium* Link.: *Fusarium graminearum* Schwabe, *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. poae* (Peck) Wol-lenw., *F. sporotrichioides*, *F. culmorum* и др.), мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *secalis* Marchal.), септориоз (*Septoria secales* Prill. et Dell.), ринхоспориоз (*Rhynchosporium secalis* (Oudem) Davis.), бурая ржавчина (*Puccinia dispersa* Eriks. et. Henn.), стеблевая ржавчина (*Puccinia*

graminis Pers. f. sp. *secalis* Eriks. et.) и спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.).

По данным Л. И. Кедровой (2000) [8], экономически значимое проявление снежной плесени на посевах озимой ржи отмечается с частотой 9-10 раз за 10 лет при уровне вредоносности 15-25 %, склеротинии, соответственно, – 1-2 раза и 50-70 %, корневых гнилей и фузариоза колоса – 3-4 раза и 15-20 %, мучнистой росы – 4-5 раз и 10-15 %, септориоза и ринхоспориоза – 3-4 раза и 10-15 %, бурой ржавчины – 5-7 раз и 10-15 % и стеблевой ржавчины – 3-4 раза и 20-50 %. По данным Т. К. Шешеговой с соавторами (2019) [9], во многих регионах РФ усиливается частота проявления и вредоносность спорыньи. В Кировской области она проявляется практически ежегодно.

Сохранение фитосанитарной напряжённости в посевах озимой ржи обусловлено рядом причин. В основном – это нарушение технологии возделывания: переход многих хозяйств на менее энергоемкие технологии обработки почвы (вплоть до отсутствия зяблевой вспашки); насыщенность севооборотов зерновыми культурами или их отсутствие; посев свежесобранными семенами. Кроме того, большое количество «бросовых» или залежных земель являются дополнительным источником и резерватом фитопатогенной микрофлоры. Недостаток, а по некоторым болезням отсутствие устойчивых сортов в производстве на этом в целом неблагоприятном фоне ещё более усугубляет ситуацию. Поэтому одним из путей ограничения вредоносности болезней является создание и возделывание устойчивых сортов. При этом селекционный путь решения проблемы требует постоянного мониторинга динамики проявления болезней во времени и пространстве [10]. Возделывание таких сортов на беспестицидной основе позволяет снижать загрязнение агроэкосистем и получать безопасную продукцию для здоровья человека [11].

Цель исследований – изучить многолетнюю динамику распространения и развития грибных болезней озимой ржи в Кировской области для корректировки задач селекции на устойчивость.

Материал и методы. Работа выполнена в лаборатории иммунитета и защиты растений Федерального аграрного научного центра имени Н. В. Рудницкого (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) в соответствии с планом научно-исследовательских работ по темам государственной регистрации 15070.6111004668.06.8.003.3; АААА-А16116021950060-5; АААА-А16116021950059-9 и конкурсным проектом Межотраслевой научно-практической программы «Рожь» (2004-2011 гг.). Проведён ретроспективный анализ фитосанитарной ситуации на производственных и селекционно-семеноводческих посевах озимой ржи на территории Кировской области за период с 1999 по 2018 год. Для этого использовали данные филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Кировской области. Объектом исследований служили болезни: снежная плесень, склеротиния, корневые гнили, мучнистая роса, септориоз листьев, ринхоспориоз, фузариоз колоса, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина и спорынья.

Для оценки динамики проявления болезней¹ использовали следующие показатели: поражение посевов (распространение болезни), развитие болезни и площадь пораженных посевов от количества обследованных. Тренд развития болезней устанавливали на основании регрессионного анализа² многолетних данных с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.), Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение. В условиях Кировской области основным фактором, лимитирующим урожайность и определяющим зимостойкость озимых зерновых культур, является поражение снежной плесенью, которое ежегодно составляет 80-100 % [8, 12], поскольку региональные абиотические условия наиболее благоприятны для гриба *M. nivale*. За анализируемый период поражение посевов варьировало от 28,2 % (1999 г.) до 100 % (2000, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 и 2015 гг.), а в среднем составило 82,0 %.

Изреживание растений в связи с гибелью растений составило 10-15 %. Болезнь ежегодно диагностировали на 71,1 % посевных площадей культуры (рис. 1). Частота проявления и вредоносность этой болезни обосновывает постоянную селекционную работу в этом направлении.

Склеротиния за анализируемый период поражала озимую рожь не менее 14 раз с уровнем от 2,2 % (2016 г.) до 41,1 % (2017 г.), хотя ранее её диагностировали не более 2 раз в 10 лет [8]. Провокационные условия для возбудителя *S. graminearum* сложились в 2017 г. На этом фоне изучено 49 сортов ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока и других НИУ РФ. Наименее поражаемыми были: Снежана, Вятка 2, Фалёнская 4, Флора, Рада, Кипрез, Садко, Леда (сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока); Волхова, Короткостебельная популяция, Былина, Славия (Ленинградского НИИСХ); Памяти Бамбышева (НИИСХ Юго-Востока) и Вираз (Уральского НИИСХ). Поражение их не превышало 2,0 % при состоянии признака у индикаторного сорта Таловская 41 (Воронежский НИИСХ) – 20 %. Следует отметить, что у сорта Снежана отсутствовали симптомы болезни.

Распространение фузариозных корневых гнилей на озимой ржи отмечено от 4 % (2013 г.) до 34 % (2001 г.), а средневзвешенный процент составил 17,5 %. За последние 10 лет наблюдается поступательный рост этой болезни. Уравнение регрессии носит линейный характер $y = 1,0267x + 7,4$; $R^2 = 0,26$, на основании которого можно утверждать, что ежегодное увеличение поражения по тренду составляет 1,02%.

Значительный ущерб за счёт снижения ассимиляционной поверхности причиняют различные пятнистости листьев, колоса и стеблей. Как правило, в связи с межвидовой конкуренцией облигатных паразитов за питательный субстрат, мучнистая роса первой колонизирует нижний ярус растений озимой ржи [13]. В Кировской области за анализируемый период её диагностировали с частотой от 1,4 % (2016 г.) до 86 % (2005 г.) при среднем показателе 29,9 %. Проявление мучнистой росы выше ЭВП было 6 раз за 15 лет; развитие болезни было на уровне 13,0-53,0 % (рис. 2).

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.

² Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Колос, 1979. 336 с.

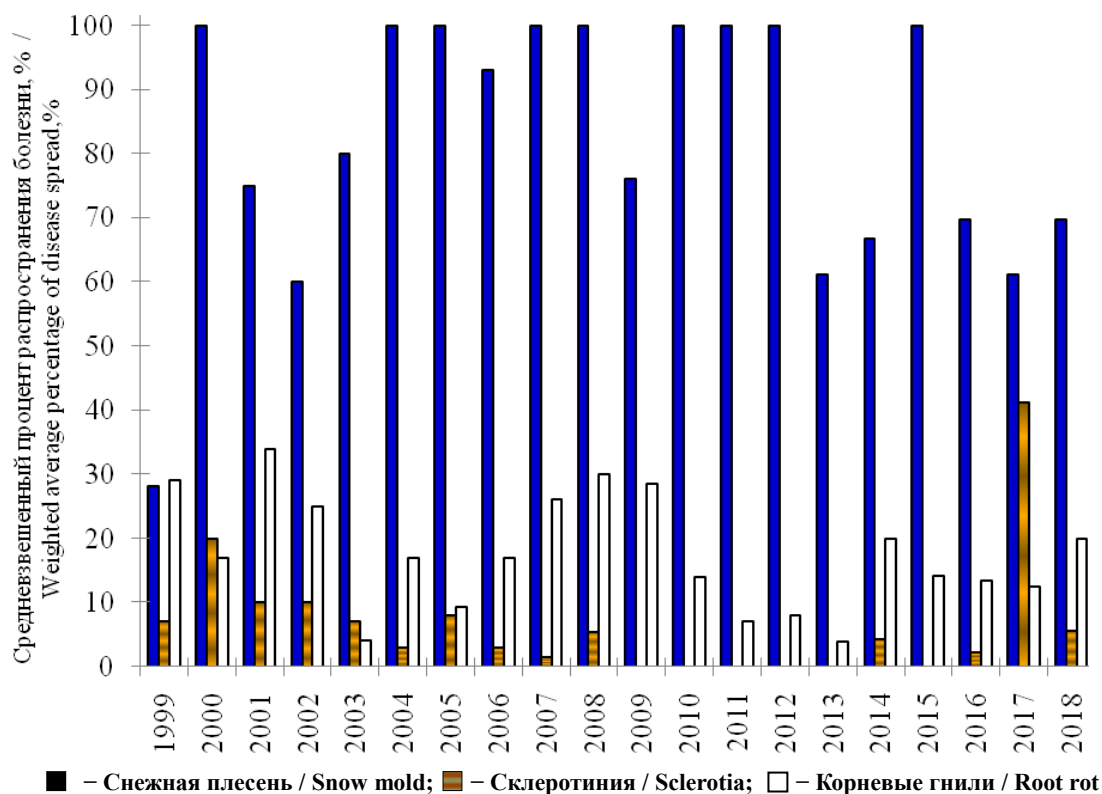


Рис. 1. Средневзвешенный процент распространения снежной плесени, склеротинии и корневых гнилей на посевах озимой ржи в Кировской области /

Fig. 1. Weighted average distribution rate of snow mold, sclerotinia and root rot on winter rye sowings in Kirov region

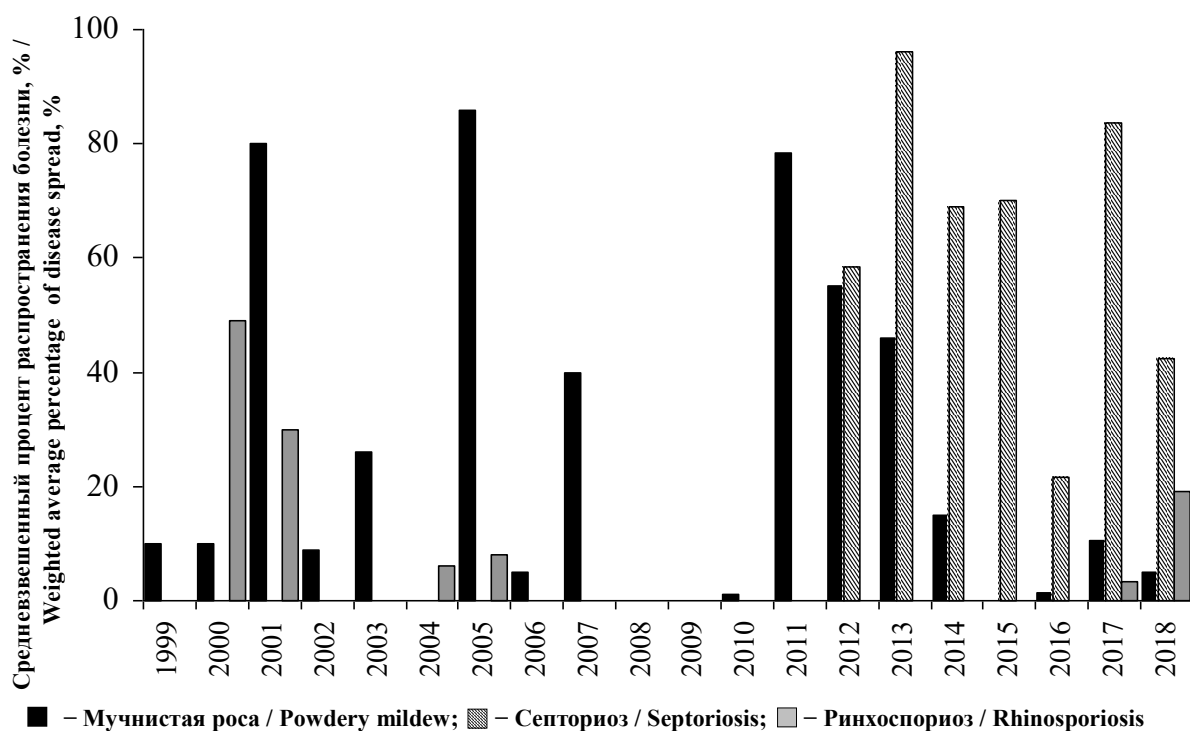


Рис. 2. Средневзвешенный процент распространения листовых болезней на посевах озимой ржи в Кировской области /

Fig. 2. Weighted average distribution rate of leaf diseases on winter rye sowings in Kirov region

Начиная с 2012 года, на посевах озимой ржи усиливается распространение и развитие септориоза. Практически ежегодно более половины обследованных площадей бывают поражены этой болезнью. Развитие септориоза выше ЭВП диагностировали 6 раз за 7 лет при развитии болезни от 13,5 до 63,0 %. Учитывая, что ЭВП в период «колошение-цветение» не должен превышать 15 %, вредность этой болезни находится на уровне критических значений. Уравнение тренда ($y = 4,30x + 80,2$; $R^2 = 0,14$) указывает на ежегодное увеличение поражённости септориозом на 4,30 %, что свидетельствует о высоком инфекционном потенциале болезни и необходимости усиления селекционной работы в этом направлении.

Распространение ринхоспориоза на посевах ржи за рассмотренный период диагно-

стировали 6 раз при состоянии признака от 3,2 % (2017 г.) до 49 % (2000 г.) и средневзвешенном проценте – 30,7 %.

В Кировской области проявляется волнообразный характер распространения бурой ржавчины на озимой ржи. Симптомы болезни усиливаются, когда наберётся определённая сумма эффективных температур для возбудителя *P. dispersa*, которая соответствует $125^{\circ}\text{C}^3, 4$. Развитие бурой ржавчины выше ЭВП диагностировано 13 раз за 19 лет. Наиболее сильное развитие болезни (20-52 %) отмечено в 2001, 2005, 2009 и 2010 гг.; слабое – в 2007 г. (0,8 %), 2017 г. (1,4 %), 2015 г. (2,4 %) и 2011 г. (5 %) при среднем значении – 47,9 %. Уравнение регрессии ($y = 2,4608x + 73,714$; $R^2 = 0,15$) свидетельствует, что ежегодное увеличение бурой ржавчины по тренду составляет 2,46 % (рис. 3).

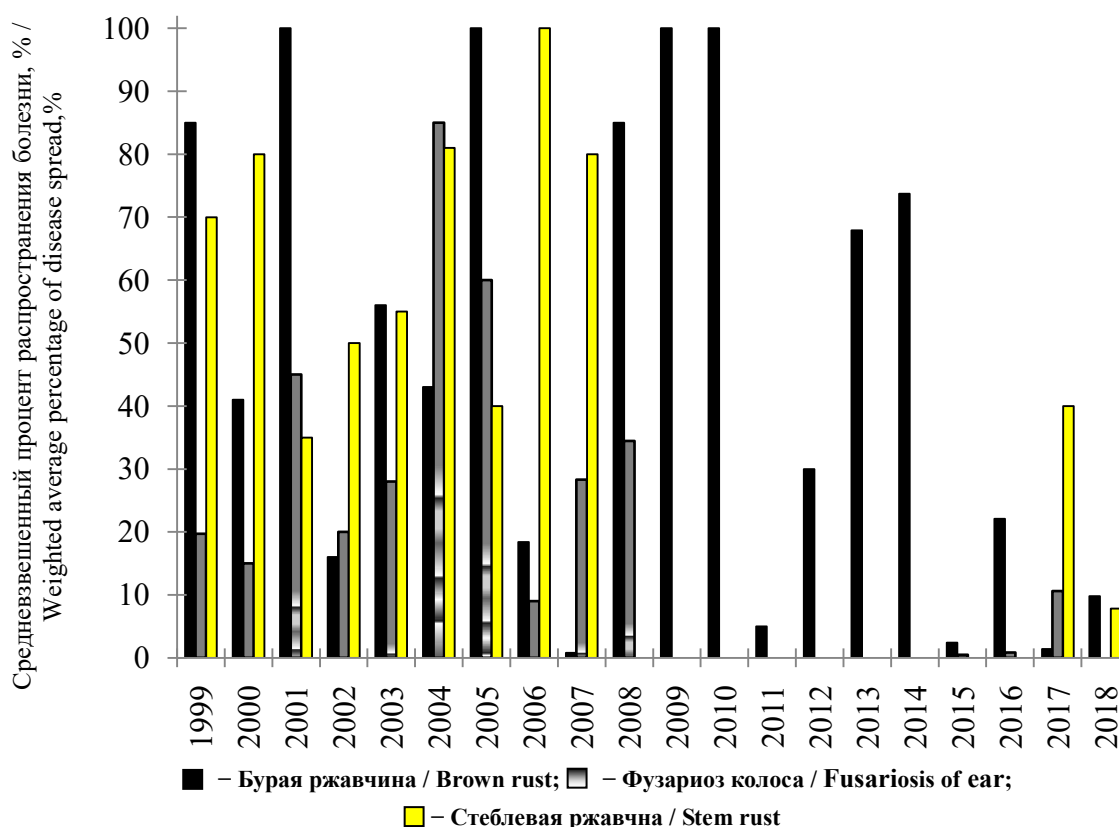


Рис. 3. Средневзвешенный процент распространения фузариозных и ржавчинных болезней на посевах озимой ржи в Кировской области /

Fig. 3. Weighted average distribution rate of fusarium and rust diseases on winter rye sowings in Kirov region

³Санин С. С., Соколов Е. А., Черкашин В. Н. Болезни зерновых колосовых культур: рекомендации по проведению фитосанитарного мониторинга. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 140 с.

⁴Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Цыпышева М. Ю. Защита зерновых культур от болезней. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 172 с.

Фузариоз колоса за анализируемый период диагностировали 14 раз. Поражение фузариозом колоса изменялось от 9 % (2006 г.) до 85 % (2004 г.); стеблевой ржавчиной – от 35 % (2001 г.) до 100 % (2006 г.) при средних значениях 34,4 % (фузариоз колоса) и 65,7 % (стеблевая ржавчина). В последние годы отмечено постепенное увеличение распространения и развития фузариоза колоса. Зависимость носит относительно ровный характер. Восходящий тренд демонстрирует достоверное ежегодное увеличение поражения на 5,06 % ($R^2 = 0,78$). Развитие стеблевой ржавчины выше ЭВП диагностировали 5 раз за 10 лет при значении признака 15-20 %. Уравнение регрессии развития стеблевой ржавчины ($y = 2,1409x + 74,422$; $R^2 = 0,26$), отражает, что ежегодное увеличение болезни по тренду составляет 2,14 %.

Среди сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока лишь сорт Снежана сохраняет генетически детерминированную

резистентность к обоим видам ржавчины, а Вятка 2 – длительную устойчивость к стеблевой ржавчине. На сегодняшний день в ряду последовательных этапов селекции отсутствует значимый прогресс по повышению устойчивости сортов озимой ржи к видам ржавчины. Однако, учитывая высокий потенциал ржавчинной инфекции в природе, необходимо расширять иммунологические исследования в этом направлении.

Усиливается поражение посевов озимой ржи спорыньей, чему способствует широкая филогенетическая специализация гриба *S. purpurea* и нарушение технологии возделывания культуры [13]. За последние 20 лет в Кировской области существует ситуация умеренного, но постоянного распространения болезни от 0,02 % (2016 г.) до 1,7 % (2012 г.) [14]. Уравнение регрессии носит линейный характер ($y = 0,1596x + 1,0457$; $R^2 = 0,35$), на основании которого можно утверждать о ежегодном увеличении признака на 0,16 % (рис. 4).

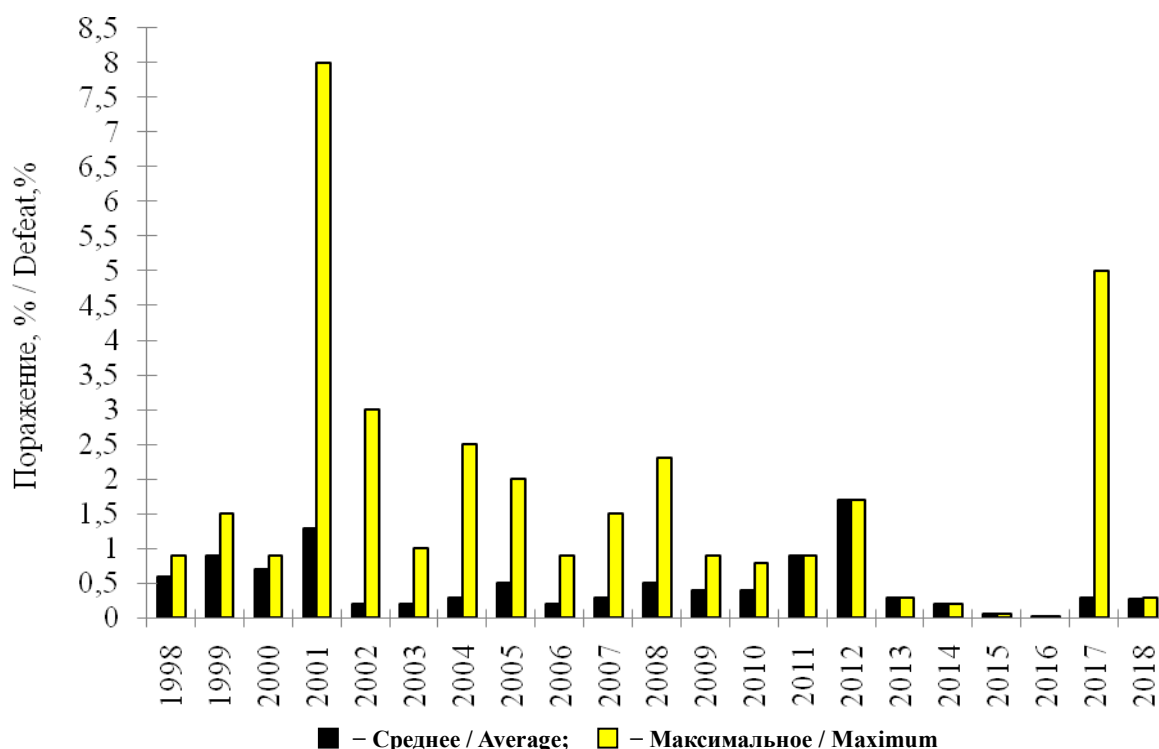


Рис. 4. Динамика поражения посевов озимой ржи спорыньей в Кировской области /
Fig. 4. Dynamics of affection of winter rye sowings with ergot in Kirov region

В связи с ужесточением отечественных и зарубежных ГОСТов, которые не допускают наличия склеротий в семенах как оригинальных, так и высших репродукций [15], усиливается роль профилактических мер за-

щиты посевов, в т. ч. путём создания и возделывания устойчивых сортов.

Следовательно, наибольшая частота проявления грибных болезней в Кировской области выявлена в отношении снежной

плесени и спорыньи (табл.). Далее идут корневые гнили и бурая ржавчина (95 %), мучнистая роса (75 %), склеротиния и фузариоз колоса (70 %), стеблевая ржавчина (50 %). Наиболее низкая частота проявления у септориоза и

ринхоспориоза – 35 и 30 %. При этом развитие бурой ржавчины выше ЭПВ диагностировано 13 раз за 19 лет, мучнистой росы – 6 раз за 15 лет; септориоза – 6 раз за 7 лет и стеблевой ржавчины – 5 раз за 10 лет.

*Таблица – Частота и характер проявления болезней озимой ржи в Кировской области за 1999-2018 гг. /
Table – Frequency and pattern of manifestation of winter rye diseases in Kirov region in 1999-2018*

Название болезни / Disease name	Частота проявления болезней / Frequency of disease manifestation		
	лет / years	%	в т. ч. выше ЭПВ, лет / including above ETH, years
Снежная плесень / <i>Snow mold</i>	20	100	-
Спорынья / <i>Ergot</i>	20	100	-
Корневые гнили / <i>Root rot</i>	19	95,0	-
Бурая ржавчина / <i>Brown rust</i>	19	95,0	13
Мучнистая роса / <i>Powdery mildew</i>	15	75,0	6
Склеротиния / <i>Sclerotinia</i>	14	70,0	-
Фузариоз колоса / <i>Fusarium head blight</i>	14	70,0	-
Стеблевая ржавчина / <i>Stem rust</i>	10	50,0	5
Септориоз / <i>Septoriose</i>	7	35,0	6
Ринхоспориоз / <i>Rhynchosporium</i>	6	30,0	-

Выводы. Таким образом, к наиболее эпифитотийно опасным болезням на посевах озимой ржи в Кировской области относятся: снежная плесень, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина, мучнистая роса и септориоз. Постоянный контроль требуется также по

отношению к таким болезням, как спорынья и фузариоз колоса. Указанные болезни должны быть объектом для селекционно-иммунологических исследований по озимой ржи в ФАНЦ Северо-Востока.

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М., 2014. 372 с.
2. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф. Особенности селекции озимой ржи на адаптивность в Республике Татарстан. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(5):11-14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23608953>
3. Шешегова Т. К., Кедрова Л. И., Щеклеина Л. М., Уткина Е. И. Результаты селекции озимой ржи на устойчивость к болезням и продуктивность в НИИСХ Северо-Востока. Зерновое хозяйство России. 2015;(6):1-9. Режим доступа: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/204/204>
4. Тороп А. А., Кузьменко С. А., Тороп Е. А., Чайкин В. В., Браилова И. С. Особенности формирования ценозов сортами озимой ржи разных сроков селекции. Зерновое хозяйство России. 2016;(5 (47)):6-10. Режим доступа: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/162>
5. Чайкин В. В., Тороп А. А., Рыльков А. И. Зимо- и засухоустойчивость озимой ржи в условиях Центрально-Черноземного региона. Земледелие. 2017;(2):32-36. Режим доступа: http://jurzemledelie.ru/images/dos/Zemledelie_2_2017.pdf
6. Hackauf B., Haffke S., Fromme F. J., Roux S. R., Kusterer B., Musmann D., Kilian A., Miedaner T. QTL mapping and comparative genome analysis of agronomic traits including grain yield in winter rye. Theoretical and Applied Genetics. 2017;130:1801-1817. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-018-2247-7>
7. Сысуев В. А., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Значение озимой ржи для сохранения природного агро-экологического баланса и здоровья человека (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2020;(1):14-20. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-014-020>

8. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
9. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Желифонова В. П., Антипова Т. В., Баскунов Б. П., Козловский А. Г. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склеротиях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области. Микология и фитопатология. 2019;53(3):177-182. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026364819030127>
10. Шешегова Т. К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015; (5(48)):10-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113596>
11. Шпаар Д., Хартлеб Х., Шпанакакис А., Фишер Х., Крацш Г. Устойчивость сорта как составной элемент интегрированной защиты растений. Вестник защиты растений. 2003;(1):8-15. Режим доступа: <http://vizrspsb.ru/assets/docs/vestnik/2003-1.pdf>
12. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Парфенова Е. С., Шамова М. Г. Влияние снежной плесени на урожайность озимой ржи в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4):315-323. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.315-323>
13. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Илалова Л. В. Фитосанитарный мониторинг наиболее вредоносных болезней озимой ржи в республике Татарстан. Вестник КрасГАУ. 2019;(9): 27-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41172898>
14. Щеклеина Л. М. Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20 (2):134-143. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143>
15. Miedaner T., Geiger H. H. Biology, Genetics and Management of Ergot (*Claviceps* spp.) in Rye, Sorghum and Pearl Mille. Toxins. 2015;7: 659-778. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins7030659>

References

1. Goncharenko A. A. *Aktual'nye voprosy selektsii ozimoy rzhi*. [Topical issues of winter rye breeding]. Moscow, 2014. 372 p.
2. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gil'mullina L. F. *Osobennosti selektsii ozimoy rzhi na adaptivnost' v Respublike Tatarstan*. [Special features of breeding of winter rye on adaptability in Republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(5):11-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23608953>
3. Sheshegova T. K., Kedrova L. I., Shchekleina L. M., Utkina E. I. *Re-zul'taty selektsii ozimoy rzhi na ustoychivost' k boleznyam i produktivnost' v NIISKh Severo-Vostoka*. [The results of winter rye breeding on tolerance to diseases and productivity in the North-East RIA]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2015;(6):1-9. (In Russ.). URL: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/204/204>
4. Torop A. A., Kuz'menko S. A., Torop E. A., Chaykin V. V., Brailova I. S. *Osobennosti formirovaniya tsenozov sortami ozimoy rzhi raznykh srokov selektsii*. [The features of cenosis formation by winter rye varieties of different terms of breeding]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2016;(5 (47)):6-10. (In Russ.). URL: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/162>
5. Chaykin V. V., Torop A. A., Ryl'kov A. I. *Zimo- i zasukhoustoychivost' ozimoy rzhi v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona*. [Winter and Drought Resistance of Winter Rye under Conditions of the Central Chernozem Region]. *Zemledelie*. 2017;(2):32-36. (In Russ.). URL: http://jurzemledelie.ru/images/dos/Zemledelie_2_2017.pdf
6. Hackauf B., Haffke S., Fromme F. J., Roux S. R., Kusterer B., Musmann D., Kilian A., Miedaner T. QTL mapping and comparative genome analysis of agronomic traits including grain yield in winter rye. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017;130:1801-1817. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-018-2247-7>
7. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Utkina E. I. *Znachenie ozimoy rzhi dlya sokhraneniya prirodnogo agroekologicheskogo balansa i zdorov'ya cheloveka (obzor)*. [Importance of winter rye for maintaining natural agroecological balance and human health (review)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and applied Ecology*. 2020;(1):14-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-014-020>
8. Kedrova L. I. *Ozimaya rozh' v Severo-Vostochnom regione Rossii*. [Winter rye in the Northeastern region of Russia]. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2000. 158 p.
9. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Zhelifonova V. P., Antipova T. V., Baskunov B. P., Kozlovskiy A. G. *Ustoychivost' sortov rzhi k poryn'e i sodержание ergoalkaloidov v sklerotsiyakh Claviceps purpurea v usloviyakh Kirovskoy oblasti*. [A Resistance of Rye Varieties to Ergot and Ergot Alkaloid Content in *Claviceps purpurea* Sclerotia on the Kirov Region Environments]. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2019;53(3):177-182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026364819030127>

10. Sheshegova T. K. *Analiz fitosanitarnogo sostoyaniya posevov yarovykh zernovykh kul'tur v Kirovskoy oblasti (analiticheskiy obzor)*. [Analysis of a phytosanitary condition of sowings of spring grain crops in the Kirov region (Analytical review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015; (5(48)):10-15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113596>
11. Shpaar D., Khartleb Kh., Shpanakakis A., Fisher Kh., Kratssh G. *Us-toychivost' sorta kak sostavnoy element integrirovannoy zashchity rasteniy*. [Cultivar resistance as an element of integrate pest management systems]. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2003;(1):8-15. (In Russ.). URL: <http://vizrspsb.ru/assets/docs/vestnik/2003-1.pdf>
12. Utkina E. I., Kedrova L. I., Parfenova E. S., Shamova M. G. *Vliyaniye snezhnoy pleseni na urozhaynost' ozimoy rzhii v usloviyakh Kirovskoy oblasti*. [Influence of snow mold on winter rye productivity in the Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4):315-323. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.315-323>
13. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Ilalova L. V. *Fitosanitarnyy monitoring naibolee vredonosnykh bolezney ozimoy rzhii v respublike Tatarstan*. [Phytosanitary monitoring of the most harmful winter rye diseases in the republic of Tatarstan]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2019;(9): 27-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41172898>
14. Shchekleina L. M. *Vliyaniye pogodnykh faktorov na otdel'nye periody razvitiya griba Claviceps purpurea (Fr.) Tul i uroven' vredonosnosti sporyn'i v Kirovskoy oblasti*. [Influence of weather factors on separate periods of fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul development and level of ergot harmfulness in Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20 (2):134-143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143>
15. Miedaner T., Geiger H. H. Biology, Genetics and Managment of Ergot (*Claviceps* spp.) in Rye, Sorghum and Pearl Mille. *Toxins*. 2015;7: 659-778. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins7030659>

Сведения об авторе

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

Information about the author

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

✉ – Для контактов / Corresponding author

Устойчивость образцов генофонда льна к эдафическому стрессу, вызванному пониженной кислотностью

© 2020. Т. А. Рожмина¹✉, А. А. Жученко мл.¹, Н. В. Мельникова²,
А. Д. Смирнова¹

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Торжок, Российская Федерация,

²ФГБУН «Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация

В условиях вегетационного опыта (2017-2019 гг.) на селективных фонах исследована реакция 27 образцов льна на снижение кислотности почвы до нейтральных значений pH_{KCl} . Схема эксперимента: вариант I (контроль) – pH_{KCl} 5,3-5,5, P_2O_5 – 320-340 мг/кг, K_2O – 81-92 мг/кг; вариант II – pH_{KCl} 6,2, P_2O_5 – 312-345 мг/кг, K_2O – 84-98 мг/кг. Показано, что в фазу «елочка» у большинства исследованных генотипов льна на фоне с pH 6,2 наблюдали симптомы «физиологического угнетения» льна: образование мелких пятен на верхних листьях, растения приостанавливались в росте, стебель утолщался, у сильно пораженных растений верхушка отмирала. В результате в начале вегетации при высоте растений 7-10 см большинство образцов были поражены в сильной степени (от 69 до 100 %). Исключение составили сорта льна-долгунца Hermes (Франция), Vega 2 (Литва), Атлант (Россия) и генотипы льна масличного – № 3896 (Россия) и Norlin (Канада), которые имели слабую и среднюю степень поражения (8,3-45,5 %). При этом данные генотипы проявили высокий уровень как биологической (75-90 %), так и агрономической (77,3-85,6 %) устойчивости в фазу «ранней желтой спелости». Выявленные коллекционные образцы льна могут быть использованы в качестве источников устойчивости к «физиологическому угнетению» льна, обусловленному стрессовыми эдафическими факторами при нейтральной реакции среды. По результатам анализа основных элементов продуктивности волокна у исследованных генотипов льна установлено, что на фоне с pH 6,2 снижение высоты растений по отношению к контролю составило от 11,4 до 52,1 %, веса технической части стебля – от 7,2 до 83,4 % и массы волокна – от 9,6 до 85,1 %. Впервые на основе гибридологического анализа сделано предположение о наличии сильного доминантного гена устойчивости к высоким значениям pH почвы у сорта льна-долгунца Hermes (Франция) и линии льна межеумка № 3896 (Россия).

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., биологическая и агрономическая устойчивость, реакция среды почвы, физиологическое угнетение, гибридологический анализ

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (тема № 075-00853-19-00).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рожмина Т. А., Жученко А. А. мл., Мельникова Н. В., Смирнова А. Д. Устойчивость образцов генофонда льна к эдафическому стрессу. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):133-140. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140>

Поступила: 15.02.2020

Принята к публикации: 30.03.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Resistance of flax gene pool samples to edaphic stress caused by low acidity

© 2020. Tatiana A. Rozhmina¹✉, Alexander A. Zhuchenko Jr.¹,
Nataliya V. Melnikova², Anzhela D. Smirnova¹

¹Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Torzhok, Russian Federation,

²Engelhardt Institute of Molecular Biology of Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation

In conditions of vegetative trial carried out against selective backgrounds in 2017-2019 the response of 27 flax samples to a decrease in soil acidity to neutral pH_{KCl} was studied. The scheme of the experiment was as follows: variant I (control) – pH_{KCl} 5.3-5.5, P_2O_5 – 320-340 mg/kg, K_2O – 81-92 mg/kg; variant II – pH_{KCl} 6.2, P_2O_5 – 312-345 mg/kg, K_2O – 84-98 mg/kg. It has been shown that during the «herringbone» phase in the majority of studied flax genotypes against the background of pH 6.2, the symptoms of «physiological oppression» of flax were observed: small spots developed on the upper leaves, the plants stopped growing, the stems thickened, and the tops of severely affected plants died off. As a result, at the beginning of the growing season at plant height of 7-10 cm, most of the samples were severely affected (from 69 to 100 %). The exceptions were varieties of fibre-flax Hermes (France), Vega 2 (Lithuania), Atlant (Russia) and linseed genotypes No. 3896 (Russia) and Norlin (Canada), which had a weak and medium degree of affection (8.3-45.5 %). Moreover, these genotypes showed a high level of both biological (75-90 %) and agronomic (77.3-85.6 %) resistance in the phase of «early yellow ripeness». The identified flax collection samples can be used as sources of resistance to flax «physiological oppression»

caused by stressful edaphic factors in a neutral environment. On the basis of the analysis of the main elements of fiber productivity in studied flax genotypes, it has been established that against the background of pH 6.2 the reduce in plant height was from 11.4 to 52.1 % relative to the control, weight of the technical part of the stem – from 7.2 to 83.4 % , fiber mass – from 9.6 to 85.1 %. For the first time, on the basis of hybridological analysis, an assumption was done as to the presence of a strong dominant gene, controlling the resistance to high soil pH values in the Hermes (France) flax variety and the linseed line No. 3896 (Russia).

Keywords: *Linum usitatissimum* L., biological and agronomic resistance, soil environment reaction, physiological oppression, hybridological analysis

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (theme No. 075-00853-19-00).

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

For citation: Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A. jr., Melnikova N. V., Smirnova A. D. Resistance of flax gene pool samples to edaphic stress caused by low acidity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):133-140. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.133-140>

Received: 15.02.2020

Accepted for publication: 30.03.2020

Published online: 21.04.2020

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) – основная техническая культура России, позволяющая в значительной степени решить проблему импортозамещения хлопка. В настоящее время продукция из льна используется в текстильной, медицинской промышленности, военно-промышленном комплексе, автомобилестроении, строительстве и других отраслях [1]. Ежегодная потребность в льноволокне внутреннего рынка более 130 тыс. тонн при фактическом его производстве около 45 тыс. тонн в год¹. Урожайность льноволокна в среднем по Российской Федерации – 9,2 ц/га, что составляет менее 45 % от биологического потенциала современных отечественных сортов льна-долгунца, характеризующихся его высоким качеством (номера 12-14). При этом в производственных условиях качество льнотресты остается низким – сортономер 1,0, при потенциальной возможности большинства сортов – 2,5 и выше. В результате чего отрасль на сегодняшний день является низкорентабельной. Важная роль в возрождении льноводства принадлежит селекции льна-долгунца, направленной на создание высокоурожайных сортов, обладающих высоким адаптивным потенциалом за счет широкого использования генофонда культуры.

Рост урожайности сельскохозяйственных культур неразрывно связан со способностью противостоять действию факторов, снижающих их продуктивность. Так, за последние 30 лет вклад селекции в повышение урожайности культур в мире составил от 40 до 80 % [2].

Одним из основных факторов, лимитирующих реализацию биологического потенциала современных сортов льна-долгунца, является пестрота почв по уровню кислотности, а также несбалансированность их по макро- и микро-

элементному составу. Для возделывания льна-долгунца на дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах оптимальными являются слабокислые почвы с рН_{KCl} 5,3-5,6. В то же время только 20 % пахотных земель Нечерноземной зоны РФ отвечают требованиям культуры по уровню кислотности, при этом доля пашни с низкой обеспеченностью цинком составляет около 50 %, а в Тверской области – 92 % [3].

Следует отметить, что на переизвесткованных почвах с нейтральной реакцией среды происходит интенсивное разложение гумуса, необходимые для льна микроэлементы (цинк, бор и др.) переходят в недоступную форму, что приводит к нарушению активности ферментов, ингибированию фотосинтеза и другим изменениям, негативно влияющим на развитие растений [3, 4, 5]. Исследования, проведенные на культуре льна с использованием метода высокопроизводительного секвенирования, показали, что на проявление экспрессии генов, наряду с дефицитом цинка, значимое влияние оказывает также избыток кальция [6, 7].

В результате эдафического стресса на высококультурных известкованных почвах во многих льносеющих регионах России и ряда других стран наблюдается «физиологическое угнетение» льна [8]. Как отмечает В. А. Прудников, лен в настоящее время в Республике Беларусь можно возделывать только на случайных, оставшихся от переизвесткования островках льнопригодной земли [9]. Несмотря на то, что по объему внесения удобрений республика не уступает странам Западной Европы, имея при этом высокий уровень обеспеченности льняной отрасли специализированными техническими средствами, урожайность и качество льноволокна в стране остаются невысокими.

¹ Лен. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agentstvo-len.ru/flax> (дата обращения 05.02.2020).

Вместе с тем за счет селекции и дифференцированного подбора сортов, адаптивных к конкретным почвенным условиям, можно обеспечить условия для максимально эффективного роста урожайности и качества льнопродукции [10].

Цель исследований – изучить нормы реакции образцов мирового генофонда льна на снижение кислотности почвы до близких к нейтральным значениям pH_{KCl} , выявить источники устойчивости к данному стрессовому эдафическому фактору и особенности наследования этого признака.

Материал и методы. В качестве исходного материала были использованы 27 сортов и перспективных линий льна отечественной и зарубежной селекции, которые оценивали на селективных фонах: I вариант (контроль) – pH_{KCl} – от 5,3 до 5,5, P_2O_5 – от 320 до 340 мг/кг, K_2O – от 81 до 92 мг/кг; II вариант – pH_{KCl} – 6,2, P_2O_5 – от 312 до 345 мг/кг, K_2O – от 84 до 98 мг/кг. Почва в опыте дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса 1,92 %.

Оценку исходного материала по устойчивости к стрессовым эдафическим факторам, вызывающим физиологическое угнетение растений льна при нейтральной реакции среды, проводили в фазы «елочка» и «ранняя жёлтая спелость». Степень поражения растений в фазу «елочка» определяли по разработанной нами шкале:

- 0 – нормально развитое растение;
- 1 – имеет единичные мелкие пятна на верхних листьях;
- 2 – имеет множество мелких коричневых пятен на верхних листьях, часть из которых приобретает белую и желтую окраски, растения приостанавливаются в росте, стебель утолщается, но точка роста не повреждается;
- 3 – имеет множество мелких коричневых пятен на верхних листьях, часть из которых приобретает белую и желтую окраску, растения приостанавливаются в росте, стебель утолщается, верхушка отмирает.

Степень поражения образцов льна рассчитывали по следующей формуле:

$$P_6 = \frac{\sum(a_6) \times 100}{AK},$$

где P_6 – степень угнетения, %; a – число растений с одинаковыми признаками; b – соответствующий этому признаку балл; Σ – сумма произведений числовых показателей; A – число растений в учёте; K – высший балл учётной шкалы.

Перед уборкой льна в фазу «ранняя желтая спелость» определяли уровень биологической и агрономической устойчивости [11]. Биологическую устойчивость (адаптивность) оценивали на стрессовом селективном фоне (pH_{KCl} 6,2) как отношение числа растений, сформировавших семена, к общему их количеству. Агрономическую устойчивость генотипов рассчитывали как отношение показателей продуктивности при стрессовых условиях на селективном фоне с pH 6,2 к продуктивности при их отсутствии (контроль).

Для изучения генетических особенностей устойчивости льна к нейтральной реакции почвенной среды проведена оценка на селективном фоне с pH 6,2 гибридов F_1 и F_2 от скрещивания устойчивых генотипов – сорта льна-долгунца Hermes и линии льна масличного № 3896 – с восприимчивыми образцами льна-долгунца Nike и AP 5.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием методов расчета коэффициента вариации, стандартного отклонения, критерия хи-квадрат и корреляционного анализа с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007. При расчете теоретически ожидаемого расщепления была сделана поправка на неполную пенетрантность признака [12].

Результаты и их обсуждение. На селективном фоне с кислотностью почвы, близкой к нейтральной (pH 6,2), у исследуемых образцов наблюдали симптомы, характерные для «физиологического угнетения» льна – образование мелких коричневых пятен на верхних листьях, часть из которых приобретали белую и желтую окраску, растения приостанавливали рост, стебель утолщался, у сильно пораженных растений верхушка отмирала, и из пазух семядольных листьев в ряде случаев образовывались боковые побеги (рис.). Проявление данных признаков свидетельствует о несбалансированности почв по макро- и микроэлементному составу, что в данном случае обусловлено избытком кальция.

В результате чего в фазу «елочка» большинство изучаемых образцов были поражены в сильной степени (от 69 до 100 %). Исключение составили сорта льна-долгунца Hermes (Франция), Вега 2 (Литва), Атлант (Россия) и генотипы льна масличного № 3896 (Россия) и Norlin (Канада), степень поражения от 8,3 % (Norlin) до 45,5 % (№ 3896). В меньшей степени поразились линия 124-17 (55,5 %) (табл. 1).



Рис. Реакция различных генотипов льна на эдафический стресс, селективный фон – pH почвы 6,2 (вегетационный опыт) /

Fig. The reaction of various flax genotypes to edaphic stress, selective background – soil pH of 6.2 (vegetative trial)

Таблица 1 – Реакция образцов льна на нейтральную реакцию почвенной среды (pH 6,2), % (2017-2019 гг.),
Table 1 – Response of flax samples to neutral reaction of soil environment (pH 6.2), % (2017-2019)

Название сорта, линии (происхождение) / Name of the variety, line (origin)	Степень поражения растений в фазу «елочка» / The degree of plant affection during the "herringbone" phase	Устойчивость / Resistance	
		биологическая* / biological*	агрономическая / agronomic
№ 3896 (Россия) / No. 3896 (Russia)	45,5	95,2	77,3
Hermes (Франция) / Hermes (France)	13,3	90,0	85,6
Norlin (Канада) / Norlin (Canada)	8,3	87,5	81,1
Вега 2 (Литва) / Vega 2 (Lithuania)	44,4	86,7	84,0
Тост 3 (Россия) / Tost 3 (Russia)	69,0	80,0	79,2
Атлант (Россия) / Atlant (Russia)	31,0	75,3	78,5
Универсал (Россия) / Universal (Russia)	91,7	70,9	83,7
Цезарь (Россия) / Zesar (Russia)	75,6	66,7	79,0
Тост (Россия) / Tost (Russia)	76,2	78,8	62,8
Аоуги (Япония) / Aougi (Japan)	75,6	77,5	68,9
к-6626 (Россия) / k-6626 (Russia)	79,2	62,5	64,9
Светоч (Россия) / Svetoch (Russia)	93,3	61,5	73,2
z-8744-10 (Китай) / z-8744-10 (China)	71,1	64,0	67,0
Строитель (Республика Беларусь) / Stroitel (Republic Belarus)	77,8	63,6	74,8
л.323-02 (Россия) / l.323-02 (Russia)	71,7	68,7	68,9
л.124-17 (Россия) / l.124-17 (Russia)	55,5	66,7	65,8
Белита (Республика Беларусь) / Belita (Republic Belarus)	86,7	61,5	67,4
China 2 (Китай) / China 2 (China)	75,0	43,7	79,4
Alizee (Франция) / Alizee (France)	71,8	44,6	70,6
AP 5 (Россия) / AR 5 (Russia)	86,1	38,2	63,0
AP 7 (Россия) / AR 7 (Russia)	88,1	35,8	71,3
Дипломат (Россия) / Diplomat (Russia)	93,8	31,3	64,9
Могилевский (Республика Беларусь) / Mogilevskiy (Republic Belarus)	75,1	24,9	58,9
Marina (Нидерланды) / Marina (Netherlands)	97,8	16,7	68,8
Оршанский 2 (Республика Беларусь) / Orschanskiy 2 (Republic Belarus)	91,7	12,9	51,3
Nike (Польша) / Nike (Poland)	100	7,7	47,9
Ли́ра (Республика Беларусь) / Lira (Republic Belarus)	100	4,2	0

* % растений льна, сформировавших семена / % of flax plants, that formed seeds

В отечественной и иностранной литературе представлены различные подходы к определению нормы реакции растений на воздействие стрессовых факторов среды [13]. В научных трудах профессора Г. В. Удовенко [11] представлено два вида устойчивости – биологическая и агрономическая. Биологическая устойчивость характеризует тот предел стрессовой нагрузки, при котором растения формируют семена. Аналогичной точки зрения придерживаются и другие ученые, по мнению которых сохранение жизнеспособности и способности формировать семена в стрессовых условиях сводится к понятию адаптивности [2, 14].

В связи с этим перед уборкой в фазу «ранней желтой спелости» льна нами на селективном нейтральном фоне был рассчитан процент растений, сформировавших семена, то есть определена биологическая устойчивость (адаптивность) изучаемых образцов. Высокий уровень устойчивости (75-90 %) проявили образцы льна Hermes, Вега 2, Атлант, № 3896 и Norlin, которые имели невысокую степень поражения растений в фазу «елочка» (менее 46 %). Кроме того, также высокий уровень биологической устойчивости наблюдали у сортов Тост 3, Тост (Россия) и Аоуги (Япония) (77,5-80 %), которые в фазу «елочка» в сильной степени поразились данным заболеванием (69,0-75,6 %), что указывает на их толерантность.

Наряду с биологической устойчивостью, нами была определена агрономическая устойчивость изучаемых генотипов льна. Наиболее высокий уровень агрономической устойчивости – от 77,3 до 85,6 % по одному из важнейших признаков, определяющих урожайность льноволокна – «высоте растений», проявили образцы Hermes, Вега 2, Атлант, Тост 3, Цезарь, № 3896 и Norlin. Уровень корреляции между данными видами устойчивости оказался достаточно высоким ($r = 0,7$).

Из полученных результатов проведенных исследований следует, что образцы Hermes, Вега 2, Атлант, Тост 3, № 3896 и Norlin сочетают высокий уровень биологической и агрономической устойчивости и могут быть использованы как источники устойчивости к нейтральной реакции почвенной среды.

Наиболее неустойчивыми к высоким значениям pH почвы оказались сорта Оршанский 2, Могилевский, Лира (Республика Беларусь),

Таблица 2 – Влияние нейтральной реакции почвенной среды на продуктивность льноволокна сортов Вега 2 и Nike (вегетационный опыт) /
Table 2 – Effect of neutral reaction of soil environment on the productivity of flax fiber of Vega 2 and Nike varieties (vegetative trial)

Сорт (происхождение) / Variety (origin)	pH _{КСЛ}	Общая высота, см / Total height, cm	cv*, %	Вес технической части 1 растения, мг / Weight of technical part of 1 plant, mg	cv, %	Масса волокна с 1 растения, г / The mass of fiber from 1 plant, g	cv, %	Процент волокна в стебле / Percent of fiber in the stem	cv, %
Вега 2 (Литва) / Vega 2 (Lithuania)	5,3	86,1±4,5	5,2	296,9±37,3	12,5	72,6±7,3	10,0	24,5±0,9	3,6
	6,2	72,3±3,7	5,1	275,4±45,0	16,4	65,6±10,8	16,4	23,9±1,1	4,7
Nike (Польша) / Nike (Poland)	5,3	91,8±4,6	5,0	343,0±44,2	12,9	101±12,2	15,0	29,5±0,8	2,6
	6,2	44,0±4,2	9,6	57,0±19,9	17,4	15,0±4,2	21,3	26,1±1,9	8,2

*cv – коэффициент вариации, % / cv – the coefficient of variation, %

Marina (Нидерланды) и Nike (Польша), у которых процент растений, сформировавших семена, составил менее 25 %. При этом наибольшее количество раздвоенных растений, которые образовались в результате отмирания точки роста, отмечалось у сортов Могилевский и Марина – 85,7 и 66,7 % соответственно.

В результате сравнительной оценки изучаемых образцов льна на селективных фонах по комплексу морфологических признаков выявлено, что повышение значения pH_{KCl} почвы с 5,3 до 6,2 при высоком уровне обеспеченности фосфором (P_2O_5 от 312 до 345 мг/кг) и среднем уровне калия (K_2O от 82 до 98 мг/кг) привело к 2-5-кратному снижению основных показателей, определяющих урожайность волокнистой льнопродукции у подавляющего большинства образцов. Так, у неустойчивого сорта Nike высота растений на селективном фоне, по сравнению с контролем, снизилась в 2 раза, содержание волокна в стебле – в 3 раза, вес технической части и масса волокна – в 6 раз (табл. 2).

У устойчивого сорта Вега 2 снижение показателей урожайности было минимальным – высота растений уменьшилась на 15 %, вес

технической части – на 19 %, масса волокна – на 21 % и содержание волокна в стебле – на 0,9 абс. процента.

Для изучения генетических особенностей наследования признака устойчивости к нейтральной реакции среды почвы был проведен анализ гибридов F_1 и F_2 , полученных от скрещивания контрастных по устойчивости образцов льна. «Физиологическое угнетение» льна принято рассматривать как неинфекционное заболевание, поэтому при гибридологическом анализе все растения были разделены на два класса – устойчивые и восприимчивые. Поскольку результаты корреляционного анализа биологической и агрономической устойчивости указывают на тесную их взаимосвязь, то при ранжировании образцов использовали данные, полученные при оценке одного из видов устойчивости, в частности, биологической устойчивости (адаптивности) растений. В качестве исходных форм использовали: устойчивые генотипы – линии льна-долгунца л. 8-3 Hermes (устойчивость 90 %) и льна масличного № 3896 (95,2 %), а также восприимчивые линии – л. 5-1 Nike (7,7 %) и л. 3-2 AP 5 (6,3 %) (табл. 3).

Таблица 3 – Расщепление в F_2 по устойчивости льна к нейтральной реакции почвенной среды (селективный фон – pH_{KCl} 6,2) /

Table 3 – Splitting in F_2 by flax resistance to neutral reaction of soil environment (selective background – pH_{KCl} 6.2)

Гибриды и исходные формы / Hybrids and parental forms	Устойчивость (биологическая), % / Resistance (biological), %	Соотношение фенотипов R:S / The ratio of phenotypes R:S		χ^2	P
		фактическое / actual	теоретическое */ theoretical*		
Hermes, л. 8-3	90,0	-	-	-	-
№ 3896	95,2	-	-	-	-
Nike, л. 5-1	7,7	-	-	-	-
AP 5, л. 3-2	6,3	-	-	-	-
F_1 № 3896 × AP 5	86,7	-	-	-	-
F_1 Hermes × Nike	87,5	-	-	-	-
F_1 Nike × Hermes	100,0	-	-	-	-
F_2 Hermes × Nike	72,1	178:69	168,5:78,5	1,82	0,05-0,20
F_2 Nike × Hermes	73,5	291:105	294,7:101,3	0,19	0,5-0,8
F_2 № 3896 × AP 5	66,5	206: 104	216,8:93,2	1,79	0,05-0,20

* с поправкой на неполную пенетрантность признака / adjusted for incomplete penetrance of the characteristic

В F_1 наблюдали практически полное доминирование признака устойчивости (H_p 0,8-1,24) к высоким значениям pH почвы как в комбинации скрещивания контрастных образцов прядильного льна – лен-долгунец × лен-долгунец, так и в комбинации скрещивания разных типов – лен масличный × лен-долгунец.

Расщепление в гибридных популяциях F_2 на устойчивые и восприимчивые растения соответствовало соотношению 3R:1S (χ^2 0,19-1,82), что позволяет сделать предположение о наличии сильного доминантного гена устойчивости у исследуемых генотипов льна прядильного – сорт Hermes и масличного –

№ 3896 (табл. 3). При этом следует отметить, что как в прямых, так и обратных комбинациях скрещиваний были получены идентичные результаты, что указывает на отсутствие материнского эффекта.

Заключение. Впервые проанализирована реакция различных коллекционных образцов льна на эдафический стресс, обусловленный нейтральной кислотностью почвы, в процессе онтогенеза – фазы «елочка» и «ранняя желтая спелость», что позволило выявить у отдельных образцов повышение их толерантности по мере роста и развития растений. Впервые введены понятия «агрономическая» и «биологическая» устойчивость применительно к рассматриваемому неинфекционному заболеванию, при этом установлен достаточно высокий уровень их взаимосвязи у исследуемых

генотипов льна ($r = 0,7$). В результате комплексной оценки выявлены новые источники устойчивости льна к пониженной кислотности почв (pH_{KCl} 6,2), у которых уровень биологической и агрономической устойчивости составил свыше 75 % (Hermes, Вега 2, Атлант, Тост 3 и др.). Показано, что выращивание льна на почвах с нейтральной реакцией среды может привести к 2-6-кратному снижению основных показателей, определяющих урожайность льноволокна по сравнению с контролем (pH_{KCl} 5,3-5,5). На основании результатов гибридологического анализа сделано предположение, что устойчивость к нейтральной кислотности почвы у льна-долгунца сорта Hermes, л. 8-3 и линии масличного льна № 3896 контролируется сильным доминантным геном.

Список литературы

1. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. Aust J Basic Appl Sci. 2010;4(9):4304-12. URL: <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2010/4304-4312.pdf>
2. Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические аспекты). Т. I, II. М.: ООО «Издательство Агрорус», 2001. 1489 с.
3. Сорокина О. Ю., Нечушкин С. М. Роль катионов кальция, магния и кислотности почвы в продуктивности льна-долгунца. Агрохимия. 2005;(10):13-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9152141>
4. Ricachenevsky F. K., Menguer P. K., Sperotto R. A., Fett J. P. Got to hide your Zn away: molecular control of Zn accumulation and biotechnological applications. Plant Sci. 2015;236:1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.03.009>
5. Sinclair S. A., Kramer U. The zinc homeostasis network of land plants. Biochim Biophys Acta. 2012;1823(9):1553-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamer.2012.05.016>
6. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and saline-alkaline stresses. BMC Plant Biol. 2016;16(1):124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>
7. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitina A. A., Rachinskaya O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. Biochimie. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>
8. Тихомирова В. Я., Белова В. М. Агрохимические и микробиологические свойства почвы в очагах физиологического угнетения льна-долгунца. Вестник РАСХН. 1994;(6):30-32.
9. Прудников В. А. Реакция культуры льна-долгунца на плодородие почвы. Земледелие и защита растений. Приложение к журналу. 2017;(4):21-23.
10. Кишлян Н. В., Рожмина Т. А. Оценка генофонда льна культурного (*L. usitatissimum* L.) по кислотоустойчивости. Сельскохозяйственная биология. 2010;(1):96-103. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/1-2010kishlyan.html>
11. Гончарова Э. А. Изучение устойчивости и адаптации культурных растений к абиотическим стрессам на базе мировой коллекции генетических ресурсов: Научное наследие профессора Г. В. Удовенко. Под ред. академика А. А. Жученко. СПб.: ГНУ ВИР, 2011. 336 с.
12. Metcalfe D. R., Helgason S. B. Inheritance of loose smit resistance. Canad. Of Plant Science. 1962;42(3):472-480.
13. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2016;(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>
14. Лыкова Н. А. Адаптивность злаков в связи с усилениями преветерации и вегетации. Сельскохозяйственная биология. 2008;(1):48-54. Режим доступа: <http://agrobiology.ru/articles/lykova.html>

References

1. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. Aust J Basic Appl Sci. 2010;4(9):4304-12. URL: <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2010/4304-4312.pdf>
2. Zhuchenko A. A. *Adaptivnyy potentsial kul'turnykh rasteniy (ekologo-geneticheskie aspekty)*. [Adaptive potential of cultivated plants (ecological and genetic aspects)]. Vol. I, II. Moscow: ООО «Izdatel'stvo Agrorus», 2001. 1489 p.
3. Sorokina O. Yu., Nechushkin S. M. *Rol' kationov kal'tsiya, magniya i kislotnosti pochvy v produktivnosti l'na-dolguntsa*. [Role of calcium and magnesium cations and soil acidity in the yielding capacity of fiber flax]. *Agrokhiimiya*. 2005;(10):13-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9152141>

4. Ricachenevsky F. K., Menguer P. K., Sperotto R. A., Fett J. P. Got to hide your Zn away: molecular control of Zn accumulation and biotechnological applications. *Plant Sci.* 2015;236:1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.03.009>
5. Sinclair S. A., Kramer U. The zinc homeostasis network of land plants. *Biochim Biophys Acta.* 2012;1823(9):1553–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.05.016>
6. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and saline-alkaline stresses. *BMC Plant Biol.* 2016;16(1):124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>
7. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaia O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. *Biochimie.* 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>
8. Tikhomirova V. Ya., Belova V. M. *Agrokhimicheskie i mikrobiologicheskie svoystva pochvy v ochagakh fiziologicheskogo ugneteniya l'na-dolguntsa*. [Agrochemical and microbiological properties of the soil in the foci of physiological oppression of fiber flax]. *Vestnik RASKhN.* 1994;(6):30-32. (In Russ.).
9. Prudnikov V. A. *Reaktsiya kul'tury l'na-dolguntsa na plodorodie pochvy*. [Fiber flax culture reaction to soil fertility]. *Zemledelie i zashchita rasteniy. Prilozhenie k zhurnalu.* 2017;(4):21-23. (In Belarus).
10. Kishlyan N. V., Rozhmina T. A. Otsenka genofonda l'na kul'turnogo (*Linum usitatissimum* L.) po kisloutoustoychivosti. [Investigation of flax (*Linum usitatissimum* L.) gene pool on resistance to soil acidity]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology.* 2010;(1):96-103. (In Russ.). URL: <http://www.agrobiologiya.ru/1-2010kishlyan.html>
11. Goncharova E. A. *Izuchenie ustoychivosti i adaptatsii kul'turnykh rasteniy k abioticheskim stressam na baze mirovoy kolleksii geneticheskikh resursov: Nauchnoe nasledie professora G. V. Udovenko*. [The study of the resistance and adaptation of cultivated plants to abiotic stresses based on the global collection of genetic resources: Scientific heritage of Professor G. V. Udovenko]. *Pod red. akademika A. A. Zhuchenko.* Saint Petersburg: GNU VIR, 2011. 336 p.
12. Metcalfe D. R., Helgason S. B. Inheritance of looce smit resistance. *Canad. Of Plant Science.* 1962;42(3):472-480.
13. Rybas' I. A. *Povyshenie adaptivnosti v seleksii zernovykh kul'tur (obzor)*. [Breeding grain crops to increase adaptability (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology.* 2016;(5):617-626. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2016.5.617rus>
14. Lykova N. A. *Adaptivnost' zlakov v svyazi s usileniyami prevegetatsii i vegetatsii*. [Adaptability in cereals (*poaceae*) in connection with prevegetation and vegetation conditions]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology.* 2008;(1):48-54. (In Russ.). URL: <http://agrobiologiya.ru/articles/lykova.html>

Сведения об авторах

✉ **Рожмина Татьяна Александровна**, доктор биол. наук, зав. лабораторией селекционных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Жученко Александр Александрович, мл., академик РАН, доктор биол. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru, e-mail: ecovilar@mail.ru

Мельникова Наталья Владимировна, кандидат биол. наук, старший науч. сотрудник, ФГБНУ «Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта Российской академии наук», ул. Вавилова, д. 32, ГСП-1, г. Москва, Российская Федерация, 119991, e-mail: isinfo@eimb.ru, e-mail: mnv-4529264@yandex.ru

Смирнова Анжела Дмитриевна, аспирант, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, e-mail: anzhela.smirnova2017@mail.ru

Information about the authors

✉ **Tatiana A. Rozhmina**, DSc in Biology, head of the laboratory, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Alexander A. Zhuchenko Jr., academician of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru, e-mail: ecovilar@mail.ru

Nataliya V. Melnikova, PhD in Biology, senior researcher, ²Engelhardt Institute of Molecular Biology of Russian Academy of Science, Vavilov St., 32, GCP-1, Moscow, Russian Federation, 119991, e-mail: isinfo@eimb.ru, e-mail: mnv-4529264@yandex.ru

Anzhela D. Smirnova, postgraduate student, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky Avenue, 17/56, Tver, Russian Federation, 1700002, e-mail: info@fncl.ru, e-mail: anzhela.smirnova2017@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона

© 2020. А. Д. Степин✉, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина, Н. В. Романова

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

В статье представлены результаты скрининга 20 сортообразцов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. В качестве стандарта использовали районированный в регионе сорт Добрыня (Россия). В среднем за годы исследований (2015-2017 гг.) урожайность волокна сортономеров льна-долгунца варьировала в пределах 1,22-2,67 т/га. Как показали расчеты индекса условий среды наиболее благоприятные условия для роста и развития сортообразцов льна-долгунца сложились в 2016-2017 годах ($I_j = +0,07-0,73$), худшие в 2015 году ($I_j = -0,79$). Наиболее высокая урожайность волокна (т/га) отмечена у сортообразцов Y 51269 (2,67)(Китай), A-236 (2,66), Добрыня (2,49), M-249 (2,48) и Л 280-02 (2,38) (Россия), Глазур (2,48) (Украина), превысивших среднесортную на 9,7-2,3 %. Из них сорта Y 51269 (Китай) и A-236 (Россия) превышали стандарт на 0,17-0,18 т/га, в два года из трёх прибавки были достоверными. Изучаемые сорта недостаточно полно реализовывали свой сравнительно высокий потенциал урожайности, отличались сильной степенью изменчивости. Лучшие показатели стрессоустойчивости (0,79-1,16) отмечены у сортообразцов Весничка, Л-2 (Россия), Б-226 (Литва), Туу (Китай), генетически гибкими генотипами (2,56-2,23) являлись сорта и линии Добрыня, M-249, A-236, Л-6, Л-4, Л-5, Л 280-02 (Россия), Глазур, Вручий (2,34-2,32) (Украина) и Туу (2,33)(Китай). Высокие показатели гомеостатичности и низкие значения коэффициента вариации имели образцы Б-226 (Литва), Глазур (Украина), Л-2-1, Весничка, Л 280-02 (Россия). Высокоотзывчивыми на условия среды являлись образцы Л-5, Л-3, Л-4, A-236, M-249, Добрыня (Россия), Sxy20, Sxy, Y 51269 (Китай), Вручий (Украина); пластичными – сортообразцы Глазур (Украина), Л-280-02, Л-5-1, 85-58-26-20 (Россия); слабоотзывчивыми – Ли-1, Туу (Китай), Л-2-1, Л-205, Весничка (Россия), Б-226 (Литва). По урожайности льноволокна и комплексу параметров адаптивности выделились сортообразцы Б-226 (Литва), Y 51269, Туу, Ли 1 (Китай), Л 280-02, Л-6, A-236, Добрыня (Россия), Вручий и Глазур (Украина). Они обладали высокой стрессоустойчивостью, генетической гибкостью, пластичностью и стабильностью. Их можно использовать в качестве источников адаптивности при создании новых сортов льна-долгунца.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., сорт, стрессоустойчивость, генетическая гибкость, пластичность, стабильность, гомеостатичность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № 0682-2019-0007).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):141-151. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.141-151>

Поступила: 17.03.2020

Принята к публикации: 13.04.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region

© 2020. Aleksander D. Stepin✉, Michael N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina, Nadezhda V. Romanova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The article presents the results of screening of 20 varieties of fiber flax (*Linum usitatissimum* L.) according to the yield of flax fiber and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region. The variety Dobrynya (Russia) zoned in the region was taken as standard. On average, over the years of research (2015-2017), the yield of flax fiber in variety numbers varied in the range of 1.22-2.67 t/ha. According to the calculations of the environmental conditions index, the most favorable conditions for growth and development of fiber flax varieties were in 2016-2017 ($I_j = +0.07-0.73$), the worst in 2015 ($I_j = -0.79$). The highest yield of fiber (t/ha) was observed in varieties Y 51269 (2.67) (China), A-236 (2.66), Dobrynya (2.49), M-249 (2.48) and L 280-02 (2.38) (Russia), Glazur (2.48) (Ukraine), which exceeded the average among the varieties by 9.7-2.3 %. Among them, the varieties Y 51269 (China) and A-236 (Russia) exceeded the standard by 0.17-0.18 t/ha, in two years of three the growth was reliable. The studied varieties did not fully realize their relatively high yield potential and were characterized by a strong degree of variability. The best indicators of stress resistance (0.79-1.16) were observed in Vesnichka,

L-2 (Russia), B-226 (Lithuania), Tyy (China) the varieties and lines Dobrynya, M-249, A-236, L-6, L-4, L-5, L 280-02 (Russia), Glazur, Vruchiy (2.34-2.32) (Ukraine) and Tyy (2.33) (China) were genetically flexible genotypes (2.56-2.23). Samples B-226 (Lithuania), Glazur (Ukraine), L-2-1, Vesnichka, and L 280-02 (Russia) had high homeostatic values and low coefficient of variation. Highly responsive to environmental conditions were samples L-5, L-3, L-4, A-236, M-249, Dobrynya, (Russia), Sxy20, Sxy, Y 51269 (China), Vruchiy (Ukraine); plastic – varieties Glazur (Ukraine), L 280-02, L-5-1, 85-58-26-20 (Russia); weakly responsive – Lu-1, Tyy (China), L-2-1, L-205, Vesnichka (Russia), B-226 (Lithuania). According to the yield of flax fiber and the complex of adaptability parameters, the cultivars B-226 (Lithuania), Y 51269, Tyy, Lu 1 (China), L 280-02, L-6, A-236, Dobrynya (Russia), Vruchiy and Glazur (Ukraine) were distinguished. They had high stress resistance, genetic flexibility, plasticity and stability. They can be used as sources of adaptability when creating new varieties of fiber flax.

Keywords: *Linum usitatissimum L., varieties, stress resistance, genetic flexibility, plasticity, stability, homeostaticity.*

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. 0682-2019-0007)

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

For citation: Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties in the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):141-151. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151>

Received: 17.03.2020

Accepted for publication: 13.04.2020

Published online: 21.04.2020

Лен-долгунец – важнейшая техническая культура, являющаяся основным источником волокнистой продукции в России, производимой в больших объемах и широко используемой в текстильной, химической, фармацевтической промышленности, производстве строительных материалов, а также в высокотехнологичных отраслях экономики. В последние годы его роль существенно возросла [1]. На современном этапе повышение эффективности производства льна-долгунца является важнейшей государственной задачей, направленной на обеспечение экономической и стратегической независимости Российской Федерации [2].

В системе мер, направленных на развитие льноводства, одно из ведущих мест занимает создание высокопродуктивных сортов льна-долгунца, обладающих широким адаптивным потенциалом на основе использования мировой коллекции ВИР [3, 4]. Последняя является богатейшим источником исходного материала для селекции и охватывает практически все генетическое разнообразие этой культуры, что позволяет создавать сорта, отвечающие различным требованиям производства¹.

В настоящее время селекционерами созданы высокопродуктивные сорта льна-долгунца с высокой потенциальной урожайностью льноволокна 20-25 и более центнеров с гектара, хорошим его качеством. Однако в производстве она, как правило, не превышает 8-10 ц/га, что в значительной степени связано с влиянием неблагоприятных факторов среды.

По мнению академика А. А. Жученко,

чем экстремальнее условия внешней среды и выше потенциальная продуктивность сортов и гибридов, тем выше роль их устойчивости к действию экологических стрессов, агроэкологической специализации, то есть приспособленности к местным условиям [5]. Северо-Западный регион относится к зоне рискованного земледелия и характеризуется большим разнообразием почвенно-климатических условий. Здесь наблюдаются случаи возврата холодов в весенний период и начале лета, краткосрочные засухи, совпадающие с периодом быстрого роста льна-долгунца, обильные осадки, приводящие к его полеганию, что, в конечном счете, отрицательно сказывается на урожайности льнопродукции и ее качестве².

В связи с этим перед селекционерами стоит важнейшая задача по созданию сортов, сочетающих высокую продуктивность, качество продукции с их экологической стабильностью и пластичностью, устойчивостью к лимитирующим урожайность факторам среды [6, 7]. При равной урожайности преимущество следует отдавать сортам с максимальной экологической приспособленностью [6, 7, 8]. Вопросам создания подобных сортов и методам оценки на адаптивность посвящены работы многих исследователей [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Большинство таких исследований проведено на других культурах: озимой пшенице и ржи [10, 15], яровой пшенице [6, 13], ячмене [9]. В то же время на льне-долгунце таких работ крайне недостаточно [17, 18], что делает подобные исследования актуальными.

¹ Давидян Г. Г. Каталог мировой коллекции ВИР. Пряжильные культуры (лен, конопля, кенаф). ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова. Л., 1975. Вып. 162. С. 4-17.

² Агроклиматические ресурсы Псковской области. Л.: Гидрометеониздат, 1972. 112 с.

Цель исследований – скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по параметрам урожайности льноволокна, экологической стабильности и пластичности для получения необходимой информации для отбора ценного исходного материала при селекции на адаптивность.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Псковского ИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в севообороте отдела селекции и семеноводства льна-долгунца в течение 2015-2017 гг.

Объектом изучения являлись 20 сортообразцов и сортов льна-долгунца коллекции ВИР. Среди них 11 образцов из России: Л-2, Л-5, Л-3, Л-5-1, Весничка, Л-205, Л 280-02, Л-6, Л-4, А-236, М-249; 6 образцов из Китая: 85-58-26-20, Sxy 20, Y 51269, Lu 1, Sxy 7, Туу; 2 сорта из Украины: Вручий и Глазур; один образец из Литвы – Б-226. В качестве стандарта использовали районированный в регионе сорт Добрыня селекции Псковского института.

Почва опытного участка – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на карбонатной морене со следующими агрохимическими показателями: $pH_{\text{кол.}}$ 5,0-5,2, содержание подвижного фосфора (P_2O_5) – 304-366 мг/кг почвы, обменного калия (K_2O) – 112-146 мг/кг почвы, гумуса – 2,2-2,3 %. Закладку питомников, проведение учетов и наблюдений проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР по изучению коллекции льна³, методическими указаниями ВНИИЛ по селекции льна-долгунца⁴. Образцы высевали рядовым способом на делянках 0,4 м², повторность трехкратная. Норма высева – 150 шт/м². Через каждые 6 делянок высевался стандарт – среднеспелый сорт Добрыня.

В процессе статистической обработки⁵ урожайных данных оценивали существенность различий (HCP_{05}), коэффициент вариации (V , %) и долю влияния сорта и абиотических условий на формирование урожайности льноволокна. Индекс условий среды (I_s), коэффициент регрессии (b_i), стабильность сорта в различных условиях среды (Gd^2) определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell [11], показатель стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) по уравнениям A. A. Rosielle, J. Hamblin [12]

в изложении А. А. Гончаренко [13], параметры гомеостатичности (H_{om}) – по В. В. Хангильдину [14], коэффициент адаптивности (Ka) – по методу Л. А. Животкова [15].

Метеорологические условия в годы проведения исследований существенно различались как по количеству выпавших осадков и сумме температур, так и по характеру их распределения в течение вегетационного периода. Это позволило более полно оценить генетический потенциал коллекционных образцов и выделить лучшие из них по продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам.

Вегетационный период 2015 года был относительно прохладным и недостаточно увлажненным. В мае, июне и июле среднесуточная температура воздуха уступала средне-многолетней на 0,4-1,3 °С, а в августе превышала ее на 0,9 °С. За вегетационный период выпало 220 мм осадков, что на 96 мм меньше среднемноголетних данных. К тому же они носили неравномерный характер. Наиболее засушливым был июнь месяц, когда выпало 29 мм осадков, или 31 % от нормы. Это совпало с периодом быстрого роста льна-долгунца и отрицательно сказалось на урожайности льнопродукции. Гидротермический коэффициент по Селянинову, который является интегральным показателем влагообеспеченности посевов, составил за июнь 0,63, а в целом за период вегетации 1,16 при оптимуме 1,3-1,6.

Вегетационный период 2016 года был теплым и дождливым. Среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнюю в мае на 2,4 °С, в июне – на 1,1 °С, в июле – на 0,4 °С и в августе – на 0,2 °С. За вегетационный период выпало 403 мм осадков, что в 1,3 раза превысило норму. ГТК составил 1,94, что говорит об избыточном увлажнении. Ливневые дожди на протяжении практически всего периода вегетации привели к полеганию посевов (устойчивость к полеганию, в разрезе образцов, колебалась в пределах 3,5-4,5 балла), что негативно отразилось на урожайности льноволокна.

Вегетационный период 2017 года был относительно прохладным и с достаточным количеством осадков (ГТК 1,72). Среднесуточная температура воздуха в мае была на 1,6 °С ниже средней многолетней, осадков выпало 26 мм (43,3 % от нормы), ГТК составил 0,79.

³ Изучение коллекции льна (*Linum Usitatissimum* L.): методические указания. Л.: ВИР, 1988. 29 с.

⁴ Методические указания по селекции льна-долгунца. Торжок, 1987. 40 с.

⁵ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Сухая прохладная погода задерживала появление всходов. В июне среднесуточная температура воздуха была ниже нормы на 1,9 °С, осадков выпало в пределах нормы – 80 мм (ГТК 1,86). В июле и августе среднесуточная температура была ниже среднеемноголетней соответственно на 2,1 и 0,1 °С, а количество осадков составило 80-159 % нормы. Такие погодные условия задерживали развитие и созревание льна-долгунца. Однако, в целом, умеренно теплая погода, с достаточным количеством осадков в фазу быстрого роста льна способствовала нарастанию вегетативной массы и формированию волокна в соломе. Лён был высокорослый (90-115 см), с высоким со-

держанием волокна (27,7-38,4 %), что обеспечило получение высокого урожая льноволокна.

Результаты и их обсуждение. Для выявления вклада генотипа (фактор «сорт») и абиотических условий произрастания растений (фактор «год») на урожайность волокна сортов и номеров льна-долгунца провели двухфакторный дисперсионный анализ. Его результаты показали, что наиболее существенное влияние на урожайность льноволокна оказывали условия года. Доля влияния фактора «год» на формирование признака составляла 74,6 %, фактора «сорт» – 23,8 % и их взаимодействия 1,6 % (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка сортообразцов льна-долгунца по реализации потенциальной урожайности льноволокна и коэффициенту адаптивности /

Table 1 – Evaluation of flax cultivars for the implementation of the potential yield of flax fiber and the coefficient of adaptability

Сорт, линия / Variety, line	Урожайность льноволокна, т/га / Flax fiber yield, t/ha				V, %	Ka / Ca	Реализация потенциа- ла урожая, % / Realizing the potential of the crop, %
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	$\bar{x}$			
Б-226	1,41	2,05	2,55	2,00	16,0	0,92	78,4
Л-5	1,33	2,45	3,18	2,32	40,1	1,07	73,0
Л-2	0,80	1,29	1,59	1,22	49,2	0,56	76,7
Л-3	1,01	1,72	2,90	1,98	48,4	0,91	68,3
Л-5-1	1,37	2,14	2,80	2,10	33,8	0,97	75,0
85-58-26-20	1,17	1,96	2,75	1,96	41,8	0,90	71,3
Sxy 20	1,14	2,00	2,86	2,00	43,0	0,92	83,1
У 51269	1,51	2,79	3,70	2,67	40,8	1,23	72,2
Весничка / Vesnichka	0,98	1,55	1,92	1,48	31,1	0,68	77,1
Л-205	1,26	2,25	2,42	1,98	31,3	0,91	81,8
Л 280-02	1,50	2,66	2,97	2,38	31,9	1,10	80,1
Л-6	1,79	2,25	3,04	2,36	26,1	1,09	77,6
Л-2-1	1,46	2,36	3,21	2,34	42,7	1,08	72,9
Туу	1,60	1,93	2,52	2,02	22,7	0,93	80,2
Lu 1	1,34	2,37	2,60	2,10	31,4	0,97	80,8
Sxy 7	1,48	2,35	3,13	2,32	35,3	1,07	74,1
А-236	1,67	2,96	3,36	2,66	35,3	1,23	79,2
М-249	1,47	2,32	3,66	2,48	44,3	1,14	67,8
Вручий / Vruchiy	1,48	2,43	3,16	2,36	34,7	1,09	74,7
Глазур / Glazur	1,61	2,77	3,07	2,48	31,0	1,14	80,8
Добрыня - ст. / Dobrynya - st.	1,51	2,52	3,44	2,49	35,7	1,15	72,4
Средняя сортовая / Average varietal	1,37	2,24	2,89	2,17	35,6	1,00	76,1
Индекс среды Ij / Environment index	-0,79	+0,07	+0,73	-	-	-	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,11	0,26	0,21	-	-	-	-

Условия выращивания льна-долгунца в годы исследований существенно различались. Для их оценки использовали индексы условий среды (I_j). Лучшие условия для роста и развития растений складываются при положительном значении условий среды, худшие при отрицательном. Из анализа индексов условий среды следует, что наиболее благоприятные условия для формирования урожайности льноволокна сложились в 2017 году ($I_j = +0,73$), в 2016 году они были менее благоприятными ($I_j = +0,07$), в 2015 году условия для формирования урожайности были неблагоприятными ($I_j = -0,79$).

С изменением условий выращивания менялась и урожайность льноволокна испытываемых образцов. Наименьшая средняя урожайность сортов и сортономеров 1,37 т/га получена в 2015 году при отрицательном индексе условий среды (-0,79). В 2016 году она составила 2,24 т/га, а в 2017 году была наивысшей – 2,89 т/га.

За годы исследований (2015-2017 гг.) урожайность волокна сортономеров льна-долгунца варьировала в пределах 0,8-3,7 т/га (образцы Л-2 и У 51269 соответственно), а по средним данным в пределах 1,22-2,67 т/га у этих же сортов (табл. 1). Наибольшая средняя урожайность волокна отмечена у сортообразцов У 51269 (2,67 т/га), А-236 (2,66 т/га), Добрыня (2,49 т/га), Глазур (2,48 т/га), М-249 (2,48 т/га) и Л 280-02 (2,38 т/га). Все они превысили среднесортную урожайность соответственно на 0,50; 0,49; 0,31; 0,31; 0,21 т/га. Сорта У 51269 (Китай) и А-236 (Россия) превышали стандарт на 0,17-0,18 т/га, в два года из трёх прибавки были достоверными. В благоприятные годы практически все сорта характеризовались высоким потенциалом урожайности.

Но стоит отметить, что изучаемые сорта недостаточно полно реализовали свой высокий потенциал урожайности. Его реализация в среднем по опыту составила 76,1 %, а в разрезе сортов она колебалась в пределах 67,8-83,1 %. Основная причина этого – слабая генетическая защита растений в отношении действий неблагоприятных факторов внешней среды и невозможность полностью оптимизировать почвенно-климатические условия за счет уровня агротехники [7]. Наиболее полно раскрылись по данному параметру образцы Глазур (80,8 %), Sxy 20 (83,1 %), Л-205 (81,8 %), Туу (80,8 %), Л 280-02 (80,1 %),

несколько слабее проявили потенциал М-249 (67,8 %), Л-3 (68,3 %), 85-58-26-20 (71,3 %). У стандартного сорта Добрыня реализация потенциальной урожайности льноволокна составила 72,4 %.

За годы исследований у большинства сортообразцов отмечалась значительная изменчивость урожайности волокна, коэффициент вариации (V) составил 22,7-49,2 %. Только один сортообразец Б-226 характеризовался средней степенью изменчивости (16 %). Относительно меньшая вариабельность урожайности льноволокна отмечена у сортообразцов Туу (22,7 %), Л-6 (26,1 %), Глазур (31 %), Весничка (31,1 %), Л-205 (31,3 %).

В неблагоприятных погодных условиях потенциальная продуктивность реализуется слабо, но может проявиться их адаптивность. Для оценки сортов по данному параметру использовали коэффициент адаптивности (Ка) по методу Л. А. Животкова [15], который определяется сопоставлением урожайности изучаемых сортов со «среднесортной» урожайностью. В наших исследованиях коэффициент адаптивности варьировал от 0,56 до 1,15. Высокая адаптивность и потенциальная продуктивность отмечены у сортономеров У 51269 и Sxy 7 (1,23-1,07), у сортов Добрыня (1,15) и Глазур (1,14). Наиболее низкую адаптивность (0,56-0,91) показали сорта и сортономера Л-2, Весничка, 85-58-56-20, Л-205.

Испытание сортов и сортообразцов в природно-климатических условиях Северо-Западного региона позволяет выделить из них те, которые способны проявлять к ним наибольшую степень адаптации и реализовывать свой высокий потенциал продуктивности. Разнообразные погодные условия дали возможность оценить реакции сортов на изменение факторов среды. В таблице 2 представлены основные статистические характеристики адаптивности сортов и сортономеров льна-долгунца.

Устойчивость к стрессу сортов и линий – важнейший показатель адаптивности и экологической пластичности, который определяется разностью между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Этот параметр имеет отрицательный знак, и чем меньше величина этого показателя, тем выше устойчивость сорта или сортономера к неблагоприятным факторам среды [13]. Наиболее высокую

стрессоустойчивость проявили линии Л-2, Б-226, Туу и сорт Весничка: их значения варьировали от -0,79 до -1,16. Наименьшая устойчивость к стрессу отмечена у сортов Добрыня,

У 51269 и линий Л-3, Л-5, Л-4, М-249, Sxy 20, где показатель устойчивости колебался от -1,93 до -2,19, у остальных сортов и линий он имел промежуточное значение.

Таблица 2 – Стрессоустойчивость и параметры адаптивности сортообразцов льна-долгунца в условиях Северо-Западного региона (2015-2017 гг.) /

Table 2 – Stress resistance and adaptability parameters of flax fiber varieties in the Northwestern region (2015-2017)

Сорт, линия / Variety, line	Параметры адаптивности / Adaptability parameters					
	$Y_2 - Y_1$	$(Y_1 + Y_2) / 2$	d	b_i	Gd^2	Hom
Б-226	-1,14	1,98	44,7	0,77	0,69	11,1
Л-5	-1,85	2,25	58,2	1,24	1,80	3,1
Л-2	-0,79	1,19	49,7	0,54	0,54	3,2
Л-3	-1,89	1,95	65,2	1,24	1,78	2,2
Л-5-1	-1,43	2,08	51,1	0,96	1,07	4,4
85-58-26-20	-1,58	1,96	57,5	1,06	1,29	3,0
Sxy 20	-1,72	2,00	60,1	1,15	1,53	2,7
У 51269	-2,19	2,60	59,2	1,47	2,49	3,0
Весничка / Vesnichka	-0,94	1,45	49,0	0,73	0,62	5,1
Л-205	-1,16	1,84	47,9	0,80	0,74	5,4
Л 280-02	-1,47	2,23	49,5	1,01	1,19	5,1
Л-6	-1,25	2,41	41,1	0,83	0,79	7,2
Л-2-1	-1,75	2,33	54,5	1,17	1,56	3,6
Туу	-0,92	2,33	36,4	0,62	0,44	4,8
Лу 1	-1,26	2,06	48,5	0,87	0,88	5,3
Sxy 7	-1,65	2,30	52,7	1,11	1,61	4,0
А-236	-1,69	2,51	50,3	1,15	1,53	3,8
М-249	-2,19	2,56	59,8	1,44	2,37	2,6
Вручий / Vruchiy	-1,68	2,32	53,2	1,29	1,93	4,1
Глазур / Glazur	-1,46	2,34	47,6	1,00	1,15	5,5
Добрыня - ст. / Dobrynya - st.	-1,93	2,47	56,1	1,29	1,92	9,1

Средняя урожайность сорта в контрастных (благоприятных и неблагоприятных) условиях $(Y_1 + Y_2 / 2)$ характеризует его генетическую гибкость и компенсаторную способность. Чем выше данный показатель, тем выше степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды. Наибольшую среднюю урожайность в контрастных условиях обеспечили сорта Добрыня (2,47 т/га), Глазур (2,34), Вручий (2,32), Sxy 7 (2,3) и линии М-249 (2,56), А-236 (2,51), Л-6 (2,41), Л-4 (2,33), Туу (2,33), Л-5 (2,25), Л 280-02 (2,23 т/га), что указывает на высокую компенсаторную способность этих сортов (табл. 3), которые смогли сформировать в этих условиях урожай выше среднего (2,17), в отличие от других сортов и линий.

Размах урожайности (d) показывает отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью сорта к максимальной, выраженной в процентах. Чем ниже показатель d , тем стабильнее урожайность сорта в данных условиях [13]. Лучшими по этому показателю выделились линии Б-226 (44,7), Л-6 (41,1), Туу (36,4), сорт Глазур (47,6).

Коэффициент линейной регрессии урожайности сортов b_i , показывающий их реакцию на изменение условий выращивания, рассчитывали по S. A. Eberhart, W. A. Russell [11]. Анализ результатов исследований показал, что сорта и сортономера Л-5, Л-3, У 51269, Л-4, А-236, М-249, Sxy 20, Вручий, Добрыня, Sxy 7 имели значение $b_i > 1$. Они отзывчивы на улучшение условий выращивания, и их можно характеризовать как интенсивные.

У сортов Глазур, Л 280-02, Л-5-1, 85-58-26-20 коэффициент регрессии близок или равен 1, что говорит о полном соответствии урожайности сортов изменению условий выращивания. Сорта Lu 1, Туу, Л-2-1, Л-205, Весничка, Б-226 имели значение $b_1 < 1$, что свидетельствует об их слабой реакции на улучшение условий выращивания. Подобная реакция свойственна сортам экстенсивного и полунтенсивного типов. Их лучше использовать на экстенсивном фоне, где они могут дать максимальную урожайность (в пределах возможности сорта) при низких затратах. Данный набор сортов и перспективных сортономеров может также служить в качестве исходного материала для создания биотипов разной степени интенсивности и экологической пластичности.

Большие различия у изучаемого набора сортов наблюдаются по показателям стабильности урожайности (Gd^2). Чем меньше квадратическое отклонение фактических урожаев от теоретических (коэффициент стабильности), тем стабильнее сорт. По данному показателю в изучаемом наборе сортов (линий) наиболее стабильными по урожайности волокна являются образцы Туу (0,44), Весничка (0,62), линия Б-226 (0,69), сорт Lu-1 (0,88). Среди выделенных по урожайности волокна сортов льна-долгунца самую низкую стабильность имели сорта и линии Y 51269, М-249, Вручий, Добрыня (2,49-1,92). Остальные сорта имели промежуточное значение.

Одним из важных показателей, характеризующих устойчивость растений к изменению неблагоприятных факторов среды, служит гомеостатичность (Ном) [14]. Критерием гомеостатичности сортов можно считать их способность поддерживать низкую вариабельность признаков продуктивности. В этом проявляется связь гомеостатичности (Ном) с коэффициентом вариации (V), которая характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды.

За период исследования наибольшую стабильность при изменении условий выращивания проявили сорта и линии Б-226 ($V = 16 \%$, Ном = 11,1), Л-2-1 ($V = 26,1 \%$, Ном = 7,2), Глазур ($V = 3,1 \%$, Ном = 5,5), Весничка ($V = 31,1 \%$, Ном = 5,1), Л 280-02 ($V = 31,9 \%$, Ном = 5,1). Следует отметить, что оценка сортов по указанным показателям совпадает с оценкой на стабильность (Gd^2).

Большая вариабельность и низкая гомеостатичность отмечены у сортов Л-2 ($V = 49,2 \%$, Ном = 3,2), Л-3 ($V = 48,4 \%$, Ном = 2,2), М-249 ($V = 44,3 \%$, Ном = 2,6), Sxy 20 ($V = 43 \%$, Ном = 2,7), Y 51269 ($V = 40,8 \%$, Ном = 3,0), что говорит о нестабильности и низкой адаптивности сортов в условиях региона. Остальные сорта занимают промежуточное положение.

По результатам наших исследований оценка генотипов льна-долгунца по пластичности и стабильности велась несколькими методами. Полученные результаты показали, что направления и величина связей одних и тех же параметров друг с другом и с урожайностью волокна не всегда совпадают. Для получения более достоверных результатов мы использовали принцип ранжирования по всем параметрам, а окончательную оценку проводили по сумме баллов [6, 8].

Ранжированная оценка сортообразцов по параметрам адаптивности (стрессоустойчивости, гибкости, изменчивости, генетической гибкости, пластичности, стабильности, гомеостатичности), с учетом наименьшей суммы баллов, позволила выявить генотипы льна-долгунца, наиболее приспособленные к условиям Северо-Западного региона (табл. 3).

К таким сортообразцам можно отнести: Б-226 (Литва); Y 51269, Туу, Lu1 (Китай); Л280-02, Л-6, А-236, Добрыня (Россия), Вручий и Глазур (Украина), набравшие наименьшую сумму баллов. Среди них образцы Б-226 (Литва), Туу (Китай), Л-6 (Россия) имели низкую пластичность (0,62-0,83), наиболее высокую стабильность (0,44-0,79) и гомеостатичность (11,1-4,8) и относительно низкий коэффициент вариации (16,0-26,1). К тому же они отличались относительно высокими показателями по стрессоустойчивости и низким размахом урожайности, что свидетельствует о их слабой реакции на улучшение условий среды. Урожайность льноволокна данных образцов была на уровне среднесортной (2,10-2,36 т/га). Их можно отнести к сортам экстенсивного типа, которые хорошо адаптированы к условиям региона и способны стабильно обеспечивать среднюю урожайность льноволокна при недостаточно высоком уровне агротехники.

Сорта Y 51269 (Китай), Вручий (Украина), А-236 и Добрыня (Россия) характеризовались высокой пластичностью по урожайности льноволокна (1,15-1,47) и низкой стабильно-

стью (1,53-2,49), низкой гомеостатичностью (Hom), высокими коэффициентами вариации (V) и размахом урожайности (d). Сорта проявили слабую стрессоустойчивость (1,68-2,19). Их следует отнести к сортам интенсивного типа, которые хорошо отзываются на улучшение условий выращивания и требуют

высокого уровня агрофона, при котором способны реализовать свой высокий потенциал по урожайности льноволокна. За годы исследований именно эти сорта сформировали наиболее высокие средние урожаи льноволокна 2,49-2,67 т/га, что на 0,32-0,50 т выше среднесортной.

Таблица 3 – Ранжирование сортообразцов льна-долгунца по параметрам адаптивности /
Table 3 – The ranking of flax fiber varieties according to the parameters of adaptability

Сорт, линия / Variety, line	Параметры адаптивности / Adaptability parameters								
	$V_2 - V_1$	$(V_1 + V_2) / 2$	d	b_i	Gd^2	Hom	V	Ka	сумма
Сху 20	14	15	20	8	12	19	18	16	121
85-58-26-20	11	17	16	11	11	18	16	19	118
Л-2	1	21	9	21	2	15	21	21	110
Л-5	17	11	17	6	17	16	14	10	107
М-249	20	2	19	2	20	20	19	5	106
Л-2-1	16	8	14	7	14	14	17	9	98
У 51269	21	1	18	1	21	17	15	1	95
Сху 7	12	10	12	10	15	12	11	11	92
Вручий / Vruchiy	13	9	13	4	19	11	10	8	86
Л-3	18	18	21	5	16	21	20	17	85
Л-5-1	8	13	11	14	8	10	9	13	85
Весничка / Vesnichka	3	20	7	19	3	8	5	20	84
Л-205	5	19	5	17	5	5	6	18	79
А-236	15	3	10	9	13	13	12	2	76
Добрыня - ст. / Dobrynya - st.	19	4	15	3	18	2	13	3	76
Лу 1	7	14	6	15	7	6	7	12	73
Л 280-02	10	12	8	12	10	7	8	6	72
Б-226	4	16	3	18	4	1	1	15	61
Туу	2	7	1	20	1	9	2	14	55
Глазур / Glazur	9	6	4	13	9	4	4	4	52
Л-6	6	5	2	16	6	3	3	7	47

К сортам, набравшим меньшее количество рангов (баллов) относятся Глазур (Украина) и Л 280-02 (Россия), которые показали относительно среднюю стрессоустойчивость (1,46-1,47), среднюю пластичность (1,0-1,1), среднюю стабильность (1,15-1,19), высокую гомеостатичность (5,1-5,5) и относительно низкий коэффициент вариации (31-31,9). В целом они проявили достаточно высокую адаптивность к условиям среды и сформировали достаточно высокую урожайность льноволокна 2,38-2,48 т/га.

Все указанные образцы представляют несомненный интерес как для производства,

так и для дальнейшей селекционной работы в подборе родительских форм для скрещиваний с целью создания новых генотипов льна-долгунца, сочетающих высокую урожайность льноволокна с максимально возможной адаптацией к условиям Северо-Западного региона России, и предназначенных для хозяйств с различной степенью интенсификации земледелия.

Выводы. Испытание в условиях Северо-Западного региона России 20 сортообразцов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции показало, что изменчивость урожайности льноволокна за годы исследований

на 74,6 % была обусловлена влиянием абиотических факторов среды, на долю сорта выпадает 23,8 % и на их взаимодействие – 1,6 %.

Комплексная оценка изучаемых сортообразцов по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности (стрессоустойчивости, пластичности, стабильности, гомеостатичности, изменчивости) с использованием разных методик и принципа ранжирования позволила получить достоверные данные и

выделить сортообразцы, обладающие высокой потенциальной продуктивностью и наибольшей адаптивностью в условиях Северо-Западного региона. К ним относятся сортообразцы Б-226 (Литва); Y 51269, Туу, Lu1 (Китай); Л 280-02, Л-6, А-236, Добрыня (Россия), Вручий и Глазур (Украина), которые целесообразно использовать в селекции льна-долгунца на адаптивность при выведении новых сортов с различной степенью интенсивности.

Список литературы

1. Понажев В. П., Павлова Л. Н., Рожмина Т. Н., Кудрявцева Л. П. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца. Тверь: Тверской гос. университет, 2014. 139 с.
2. Смирнова Л. А., Поздняков Б. А., Рожмина Т. А., Понажев В. П., Павлова Л. Н. Льняной комплекс России: факторы и условия эффективного развития. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 142 с.
3. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Понажев В. П., Захарова Л. М. Льняная отрасль на пути к возрождению. Защита и карантин растений. 2018;(1):3-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32368923>
4. Рожмина Т. А., Сорокина О. Ю., Киселева Т. С., Смирнова М. И., Смирнова А. Г. Скрининг образцов коллекции льна по его устойчивости к стрессовым факторам среды. Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: научное пособие. Тверь: Тверской гос. университет, 2018. С. 28-31.
5. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Т. I. М.: Изд-во Агрорус, 2008. 814 с.
6. Сапега В. А., Турсунбекова Г. Ш. Продуктивность и параметры адаптивности сортов твердой яровой пшеницы. Аграрная наука. 2013;(9):12-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23160605>
7. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: РУДН, 2001. Т.1. 780 с.
8. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617.rus>
9. Курылева А. Г. Адаптивная реакция сортов ячменя при экологическом испытании в условиях Удмуртской Республики. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(6(67)):52-57. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57>
10. Мамаев В. В. Выявление сортов озимой ржи с экологической адресностью для юго-запада центра России. Вестник Ульяновской Государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(3):78-83. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-3-78-83>
11. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop. Sci. 1966;6(1):38-40. URL: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
12. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop.Sci. 1981; 21(6):27-29. URL: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1547866>
13. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник РАСХН. 2005;(6):49-53.
14. Хангильдин В. В., Бирюков С. В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях. Генетико-цитологические аспекты селекции сельскохозяйственных растений: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ, Всесоюз. селекц.-генет. ин-т. Одесса: ВСГИ, 1984. С. 67-76. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001227021>
15. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-6. Режим доступа: <https://istina.msu.ru/publications/article/2314139/>
16. Кильчевский А. В. Генетико-экологические основы селекции растений. Информационный вестник ВОГиС. 2005;9(4):518-526. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9127861>
17. Королёв К. П., Бомс Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях Северо-Восточной части Беларуси. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):615-621. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>
18. Корепанова Е. В., Фатыхов И. Ш. Экологическая пластичность сортов льна-долгунца в условиях Среднего Предуралья. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2012;(4):27-30. Режим доступа: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_4,%202012.pdf

References

1. Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Rozhmina T. N., Kudryavtseva L. P. *Seleksiya i pervichnoe semenovodstvo l'na-dolguntsa*. [Selection and primary seed production of fiber flax]. Tver': Tverskoy gos. universitet, 2014. 139 p.
2. Smirnova L. A., Pozdnyakov B. A., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pavlova L. N. *L'nyanoy kompleks Rossii: faktory i usloviya effektivnogo razvitiya*. [Flax complex of Russia: factors and conditions of effective development]. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. 142 p.
3. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. *L'nyanaya otrasl' na puti k vrozozhdeniyu*. [Linen industry on the way to revival]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(1):3-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32368923>
4. Rozhmina T. A., Sorokina O. Yu., Kiseleva T. S., Smirnova M. I., Smirnova A. G. *Skrining obraztsov kolleksii l'na po ego ustoychivosti k stressovym faktoram sredy*. [Screening of samples of flax collection for its resistance to environmental stress factors]. *Nauchnoe obespechenie proizvodstva pryadil'nykh kul'tur: sostoyanie, problemy i perspektivy: nauchnoe posobie*. [Scientific support for the production of spinning crops: state, problems and prospects: a scientific guide]. Tver': Tverskoy gos. universitet, 2018. pp. 28-31.
5. Zhuchenko A. A. *Adaptivnoe rastenievodstvo (ekologo-geneticheskie osnovy)*. [Adaptive crop production (ecological and genetic basis)]. Vol. I. Moscow: Izd-vo Agrorus, 2008. 814 p.
6. Sapega V. A., Tursunbekova G. Sh. *Produktivnost' i parametry adaptivnosti sortov tverдой yarovoy pshenitsy*. [Productivity and Adaptive Potential of Winter Wheat Varieties under Different Agroecological Conditions]. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2013;(9):12-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23160605>
7. Zhuchenko A. A. *Adaptivnaya sistema seleksii rasteniy (ekologo-geneticheskie osnovy)*. [Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic basis)]. Moscow: RUDN, 2001. Vol.1. 780 p.
8. Rybas' I. A. *Povyshenie adaptivnosti v seleksii zernovykh kul'tur (obzor)*. [Breeding grain crops to increase adaptability (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2016;51(5):617-626. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617.rus>
9. Kuryleva A. G. *Adaptivnaya reaktsiya sortov yachmenya pri ekologicheskom ispytanii v usloviyakh Udmurtskoy respubliki*. [Adaptive reaction of barley varieties during environmental testing in the Udmurt Republic]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;(6(67)):52-57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57>
10. Mamaev V. V. *Vyyavlenie sortov ozimoy rzhi s ekologicheskoy ad-resnost'yu dlya yugo-zapada tsentra Rossii*. [Search for varieties of winter rye with environmental targeting for the southwest of central Russia]. *Vestnik Ul'yanovskoy Gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2018;(3):78-83. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-3-78-83>
11. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 1966;6(1):38-40. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
12. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop.Sci.* 1981; 21(6):27-29. URL: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1547866>
13. Goncharenko A. A. *Ob adaptivnosti i ekologicheskoy ustoychivosti sortov zernovykh kul'tur*. [On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties]. *Vestnik RASKhN*. 2005;(6):49-53. (In Russ.).
14. Khangil'din V. V., Biryukov S. V. *Problema gomeostaza v genetiko-seleksionnykh issledovaniyakh*. [The Problem of homeostasis in genetic and breeding research]. *Genetiko-tsitologicheskie aspekty seleksii sel'skokhozyaystvennykh rasteniy: sb. nauch. tr. VASKhNIL, Vsesoyuz. selekts.-genet. in-t*. [Genetic and cytological aspects of plant breeding of agricultural plants: Collection of research papers of VASKhNIL, All-Union Selection and Genetic Institute]. Odessa: VSGI, 1984. p. 67-76. URL: <https://search.rsl.ru/record/01001227021>
15. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. *Metodika vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti i adaptivnosti sortov i seleksionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu «Urozhaynost'»*. [Methods for identifying potencial productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat according to the indicator «Yield»]. *Seleksiya i semenovodstvo*. 1994;(2):3-6. (In Russ.). URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/2314139/>
16. Kil'chevskiy A. V. *Genetiko-ekologicheskie osnovy seleksii rasteniy*. [Genetic and ecological bases of plant breeding]. *Informatsionnyy vestnik VOGiS*. 2005;9(4):518-526. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9127861>
17. Korolev K. P., Boms N. A. *Otsenka genotipov l'na-dolguntsa (Linum usitatissimum L.) po ekologicheskoy adaptivnosti i stabil'nosti v usloviyakh Severo-Vostochnoy chasti Belarusi*. [Evaluation of flax (*linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the North-Eastern Belarus]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52(3):615-621. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>
18. Korepanova E. V., Fatykhov I. Sh. *Ekologicheskaya plastichnost' sortov l'na-dolguntsa v usloviyakh Srednego Predural'ya*. [Ecological Plasticity of Sorts of Long-Stalk in the Conditions of Middle Ural' Region]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2012;(4):27-30. (In Russ.). URL: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_4,%202012.pdf

Сведения об авторах

✉ **Степин Александр Дмитриевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель, Псковский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира 1, дер. Родина, Псковский район, Псковская область, Российская Федерация, 180559, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Рысев Михаил Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Псковский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира 1, дер. Родина, Псковский район, Псковская область, Российская Федерация, 180559, e-mail: rysev.mih@jandex.ru

Рысева Тамара Андреевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Псковский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира 1, дер. Родина, Псковский район, Псковская область, Российская Федерация, 180559

Уткина Светлана Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Псковский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира 1, дер. Родина, Псковский район, Псковская область, Российская Федерация, 180559

Романова Надежда Владимировна, научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Псковский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира 1, дер. Родина, Псковский район, Псковская область, Российская Федерация, 180559

Information about the authors

✉ **Alexander D. Stepin**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Head of Pskov Institute of Agriculture – separate division of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, vil. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Mikhail N. Rysev, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Pskov Institute of Agriculture – separate division of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, vil. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: rysev.mih@jandex.ru

Tamara A. Ryseva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Pskov Institute of Agriculture – separate division of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, vil. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559

Svetlana V. Utkina, senior researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Pskov Institute of Agriculture – separate division of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, vil. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559

Nadezhda V. Romanova, researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Pskov Institute of Agriculture – separate division of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, vil. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО / FODDER PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.152-159>

УДК 633.2:633.3



Агрофитоценозы на основе перспективных сортов клевера лугового на осушаемых землях Нечерноземья

© 2020. Е. Н. Павлючик✉, А. Д. Капсамун, Н. Н. Иванова, Т. Н. Пантелеева, Н. А. Епифанова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», п. Эммаусс, Тверская обл., Российская Федерация

В статье представлены данные исследований 2019 года, проведенные в условиях северо-западной части Нечерноземья (Тверская область). Изучали кормовые травосмеси на основе сортов клевера лугового Кретуновский, Грин, Шанс, Фаленский 86 в смеси с сортом люцерны изменчивой Вега 87 и злаковыми компонентами – сортами тимофеевки луговой ВИК 9 и овсяницы луговой Сахаровская. Сбор сухой массы бобово-злаковых травостоев первого года пользования при первичном скашивании в удобренных вариантах составил 4,4-6,9 т/га, при высоте травостоя 66-77 см и густоте стеблестоя 318-507 шт/м². Показатели в вариантах без удобрений были ниже, высота травостоя – 63-69 см, густота – 334-595 шт/м² и урожай кормовой массы – 3,8-4,6 т/га. Неблагоприятные климатические условия в межкусовой период оказали подавляющее действие на рост и развитие трав, поэтому при вторичном скашивании параметры высоты агрофитоценозов снизились в 1,2-1,3 раза и не превышали 32-44 см на неудобренном фоне, 43-53 см – на удобренном. Снижения побегообразовательной способности трав при втором укосе не наблюдалось, плотность агрофитоценозов была на уровне 300-500 шт/м. Сбор сухой массы второго укоса по сравнению с первым снизился в 1,3-1,7 раза и составил 2,2-5,4 т/га. В ботаническом составе травосмесей в первом укосе преобладали бобовые компоненты – 35-65 %, при вторичном скашивании процент участия бобовых не превышал 15-30 %. Использование в сельском хозяйстве трехкомпонентных травосмесей позволит получить за два укоса от 6,7 до 9,3 тонн с гектара сухой массы полноценного корма для крупного рогатого скота. Адаптация и возделывание на дерново-подзолистых почвах в условиях гумидной зоны Нечерноземья травосмесей, состоящих из кормовых трав нового поколения, является одним из резервов повышения продуктивности кормовых культур более чем на 10 %.

Ключевые слова: *Trifolium pratense* L., *Medicago varia* T., *Phleum pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., злаковые травы, травосмеси, сроки использования, густота стеблестоя, урожайность сухой массы

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель» (№ 0651-2019-0010).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Павлючик Е. Н., Капсамун А. Д., Иванова Н. Н., Пантелеева Т. Н., Епифанова Н. А. Агрофитоценозы на основе перспективных сортов клевера лугового на осушаемых землях Нечерноземья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020; 21(2):152-159. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.152-159>

Поступила: 02.03.2020

Принята к публикации: 07.04.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Agrophytocenoses based on promising varieties of meadow clover on drained lands of the Non-Chernozem zone

© 2020. Ekaterina N. Pavlyuchik✉, Andrey D. Kapsamun, Nadezhda N. Ivanova, Tatyana N. Panteleeva, Nina A. Epifanova

All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, settlement Emmaus, Tver Region, Russian Federation

The article presents data of studies carried out in the northwestern part of the Non-Chernozem zone (Tver region) in 2019. Studied were fodder mixtures based on meadow clover Kretunovsky, Green, Chance, Falensky 86 varieties mixed with variegated alfalfa Vega 87 variety and cereal components – timothy grass VIK 9 and meadow fescue Sakharovskaya varieties. The yield of dry weight of legumes and cereal grass stands of the first year of use during primary mowing in fertilized varieties was 4.4-6.9 t/ha at the height of grass stand of 66-77 cm and stalk density of 318-507 pcs/m². The indicators in variants without fertilizers were lower, the height of the grass stand was 63-69 cm, the density was 334-595 pcs/m² and the yield of fodder mass was 3.8-4.6 t/ha. Unfavorable climatic conditions during the period between mowings had a suppressive

effect on growth and development of herbs, therefore, during the secondary mowing the height parameters of agrophytocenoses decreased by 1.2-1.3 times and did not exceed 32-44 cm against unfertilized background, 43-53 cm against a fertilized one. A decrease in shoot formation ability of herbs during the second mowing was not observed, the density of agrophytocenoses was at the level of 300-500 pcs/m. The yield of dry mass of the second mowing compared to the first mowing decreased by 1.3-1.7 times and was 2.2-5.4 t/ha. In the botanical composition of grass mixtures during the first mowing, legume components prevailed – 35-65 %, during the secondary mowing the percentage of legumes did not exceed 15-30 %. The use of three-component grass mixtures in agriculture will make it possible to get from 6.7 to 9.3 tons per hectare of dry weight of complete feed for cattle for two mowings. Adaptation and cultivation on sod-podzolic soils in the humid zone of the Non-chernozem region of grass mixtures consisting of new-generation forage grasses is one of the reserves for increasing productivity of forage crops by more than 10 %.

Keywords: *Trifolium pratense* L., *Medicago varia* T., *Phleum pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., cereal grasses, grass mixtures, periods of use, stem density, dry mass productivity

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (theme No. 0651-2019-0010).

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

For citation: Pavlyuchik E. N., Kapsamun A. D., Ivanova N. N., Panteleeva T. N., Epifanova N. A. Agrophytocenoses based on promising varieties of meadow clover on drained lands of the Non-Chernozem zone. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020; 21(2):152-159. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.152-159>

Received: 02.03.2020

Accepted for publication: 07.04.2020

Published online: 21.04.2020

Приоритетным направлением кормопроизводства является отведение большей части земель кормовых угодий бобовым травам при эффективном их использовании в смешанных посевах. Введение бобово-злаковых агрофитоценозов на основе инновационных сортов в систему кормопроизводства позволяет наиболее полно использовать почвенно-климатический, водный и энергетический потенциал, что способствует созданию лучших условий для устойчивого развития кормопроизводства и животноводства [1].

При использовании бобово-злаковых травостоев сохраняется и повышается плодородие почв, минимизируется обработка почвы, в итоге снижается техногенное воздействие на почву. Отказ от применения химических средств защиты растений позволяет получать, благодаря фитосанитарным свойствам клевера и люцерны, экологически чистую продукцию; разные сроки созревания трав способствуют созданию устойчивой и высокопродуктивной агроэкосистемы [2, 3, 4].

Ведущей кормовой культурой в Нечерноземной зоне России, где почвы отличаются низким потенциальным плодородием, является клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) – культура, которая позволяет получать дешёвый корм при сохранении и улучшении почвенного плодородия. Ценной кормовой культурой является и более долгодетный вид бобовых трав – люцерна изменчивая (*Medicago varia* T.), новые сорта которой отличаются зимостойкостью и светолюбием. Люцерна, как и клевер луговой, обеспечивает высокобелковыми кормами сельскохозяйственных животных и

способствует значительному повышению плодородия почвы [5, 6, 7, 8].

Интенсивные сорта клевера лугового и люцерны изменчивой отличаются повышенным потенциалом продуктивности, долгодетием, многоукосностью, высокими кормовыми и агротехническими достоинствами [9].

Подбор и оптимальное соотношение новых сортов клевера лугового при использовании в сенокосных смесях с более долгодетней бобовой культурой – люцерной изменчивой, способствует значительному снижению затрат на производство кормов и увеличению их количества, качества и долгодетия, сбалансированности кормовых рационов по элементам питания и обеспечению сохранения и повышения почвенного плодородия [10].

Введение интенсивных, более адаптированных сортов кормовых трав и приёмы эффективного их использования способствуют достижению стабильной продуктивности кормовых угодий, повышают ареал их распространения и эффективность использования почвенно-климатических ресурсов [11].

Создание новых зимостойких и кислотоустойчивых сортов требует исследований по изучению их продуктивных и качественных параметров, повышению их биологического потенциала и адаптации к условиям осушаемых земель гумидной зоны Нечерноземного региона. Особую актуальность имеют исследования, направленные на изучение возможностей создания и использования высокопродуктивных, экологически устойчивых сенокосных травостоев.

Цель исследований – оценка продуктивности бобово-злаковых разнотравных травосмесей в зависимости от уровня минерального питания и выявление наиболее высокопродуктивных агрофитоценозов для возделывания на осушаемых почвах в условиях гумидной зоны Нечерноземья.

Материал и методы. Объектом исследований являлись трёхкомпонентные кормовые травосмеси сенокосного типа на основе разнотравных сортов клевера лугового: ультрараннеспелый Кретуновский, раннеспелые Грин и Шанс, среднепоздний одноукосный Фаленский 86 в смеси с люцерной изменчивой Вега 87 и злаковыми травами – тимфеевкой луговой (*Phleum pratense* L.) ВИК 9 и овсяницей луговой (*Festuca pratensis* Huds.) Сахаровская. Изучаемые сорта клевера лугового созданы селекционерами Фалёнской селекционной опытной станции (филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Кировская область).

Сорт клевера лугового Кретуновский выделяется высокой зимостойкостью, влаголюбием и устойчивостью к полеганию. Не менее зимостойкими являются сорта Грин и Шанс (90-100 %). Отличие сорта Грин состоит в толерантности к повышенной кислотности почвы, что является важным условием получения стабильной урожайности на кислых почвах [12, 13].

Исследования проводили на опытных полях отдела кормопроизводства ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель» (ФГБНУ ВНИИМЗ), расположенных в Тверской области. Почва опытного участка дерново-подзолистая суглинистая, осушенная в 1982 году закрытым гончарным дренажем. Расстояние между дренами 38 м, глубина заложения 0,8 м.

Агрохимический анализ почвенных образцов проводили в лаборатории аналитических исследований ФГБНУ ВНИИМЗ, в образцах определяли по методикам следующие показатели: pH_{KCl} – потенциометрически на иономере ЭВ-74 (ГОСТ 26483-85), азот легкогидролизуемый – по Корнфилду (ГОСТ 13496.4-93), содержание подвижных соединений фосфора и обменного калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011), общий

азот по методу Кьельдаля с перерасчётом на сырой протеин (общий азот (%) $\times 6,25$) по ГОСТ 32343-2013, гумус – по методу И. В. Тюрина.

В пахотном слое почвы содержание гумуса составляло 3,2 %, подвижного фосфора – 172 и обменного калия – 88 мг/кг почвы, легкогидролизуемого азота – 33 мг/кг почвы. Реакция пахотного горизонта опыта слабокислая – $pH_{KCl} 5,0$.

Закладка полевого опыта проведена в 2018 году. Размещение вариантов последовательное. Повторность опыта четырехкратная. Площадь делянки 256 м². Каждая делянка разделена на две субделянки площадью 128 м²: без удобрений и с минеральными подкормками (N45P45K45 – ранней весной и N15P15K15 – после проведения первого укоса).

Многолетние травы сеяли беспокровно рядовым способом с одновременным прикатыванием, с заделкой семян на глубину 0,5-2 см. Норма высева семян в тройной травосмеси составила для клевера лугового и люцерны изменчивой по 8,0 млн/га всхожих семян, тимфеевки луговой – 10 млн/га и овсяницы луговой – 12 млн/га. Состав травосмесей отражен в таблице.

Многолетние кормовые травостои в течение вегетационного периода скашивали два раза. Первый укос клевера лугового проводили в фазу «бутонизация-начало цветения», второй – по мере формирования укосной спелости за 35-40 дней до наступления устойчивых заморозков.

Закладку опыта и статистическую обработку экспериментальных данных методом дисперсионного анализа осуществляли по методике Б. А. Доспехова¹. Исследования проводили на основе методических рекомендаций по рациональному использованию осушаемых земель в Нечернозёмной зоне России², методических указаний по проведению полевых опытов с кормовыми культурами³.

Почвенно-климатические условия являются определяющими факторами роста и развития растений, продуктивности и питательности травостоев. Метеорологические условия 2019 года были контрастными по температурному режиму и количеству выпавших осадков.

¹ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 352 с.

² Методические рекомендации по рациональному использованию осушаемых земель в Нечернозёмной зоне России. М.: Россельхозакадемия, 1997. 76 с.

³ Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: Россельхозакадемия, 1997. 156 с.

Коэффициент увлажнения в начальный период роста трав не превышал 0,74-0,78, а в межукосный период при редком, но обильном выпадении осадков был ещё ниже 0,18-0,24, или 1/3 от среднемноголетних данных.

Период вегетации трав отличался пониженным температурным режимом в сравнении со среднемноголетними данными: до первого укоса ниже на 260-269 °С, до вторичного скашивания – на 100 °С. Июнь месяц отличался засушливыми условиями, когда влажность пахотного слоя почвы была около 10 %, подпахотного – 6-8 %. В межукосный период отмечено повышение влажности почвы до 15-18 %. К концу августа данный показатель после выпадения обильных осадков поднялся выше 25 %.

Результаты и их обсуждение. В поле-вом эксперименте проводили исследования на травостоях 1-го года пользования по оценке новых для региона сортов клевера лугового и подбору злаковых компонентов для выращивания в смесях с разнопоспевающими сортами клеверов на осушаемых землях.

По высоте травостоя можно судить о продуктивности и прогнозировать урожайность. В течение вегетации трав рост травостоев 1-го г. п. изменялся в зависимости от погодных условий, состава травосмесей и минеральных подкормок. При 1-ом укосе бобово-злаковые травостои были высокие: 66-77 см – на удобренном фоне, на неудобренном – 63-69 см. Травостои с тимopheевкой и овсяницей в период проведения 1-го укоса обладали одинаковой высотой – 68 см в среднем, при вторичном скашивании травостои с тимopheевкой луговой были выше на 12 см.

Межукосный период характеризовался то избыточным, то недостаточным количеством влаги, что отрицательно отразилось на высоте трав, которая составила при вторичном скашивании – 32-58 см и была в 1,3-2 раза ниже, чем при 1-ом укосе. Следует отметить, что на удобренных делянках травостои были выше до 10 см.

Густота стеблестоя трав – важный показатель урожайности агрофитоценозов. Наблюдения показали, что смеси трав 1-го г. п. за 2 укоса обладали высокой способностью к кущению 309-465 шт/м².

В зависимости от злакового компонента наиболее густой покров при 1-ом укосе формировали смеси с тимopheевкой луговой – 439 шт/м², при 2-ом укосе с овсяницей луговой

– 408 шт/м². В среднем по опыту густота стеблестоя тимopheевки в составе травосмеси составила 302 шт/м², овсяницы – 282 шт/м². В целом, несмотря на резкие изменения погодных условий, травостои с тимopheевкой и овсяницей отличались высокой плотностью агроценозов – в пределах 400 шт/м² и выше.

Ботанический состав травосмесей при первичном скашивании показал высокое в процентном отношении участие в травостоях бобовых компонентов – 35-65 %, в основном за счёт активного развития клевера лугового, процент участия бобовых трав при вторичном скашивании ниже – от 15 до 30 %.

Из злаковых компонентов в период формирования 1-го укоса более активное развитие отмечено у овсяницы луговой – 53 % (в среднем в составе смесей), против 46 % у тимopheевки луговой. В период проведения 2-го укоса злаковые компоненты занимали в смесях равные доли 70-85 %, что говорит о стрессоустойчивости данных культур. Сбор сухой массы травосмесей определяется режимом скашивания, видовыми и сортовыми особенностями и складывающимися погодными условиями.

При проведении исследований отмечено, что бобово-злаковые травосмеси 1 г. п. при первичном скашивании клевера лугового в фазу «бутонизация-начало цветения» формировали сбор сухой массы 3,8-6,9 т/га. При вторичном скашивании травосмеси (в начале сентября) сбор сухой массы уменьшился в 1,3-1,7 раза – 2,2-5,4 т/га (табл.).

Прибавка сбора сухой массы при минеральной подкормке в среднем по травосмесям при 1-ом укосе составила 1,2 т/га (НСР₀₅ – 0,8); при 2-ом – 1,4 т/га (НСР₀₅ – 1,0). На уровень урожайности кормовых трав в большей степени повлияли неблагоприятные климатические условия: отсутствие осадков при повышенной температуре в первую половину вегетационного периода, во вторую – избыточное количество осадков при температуре ниже нормы, при которых кормовые травы находились в угнетённом состоянии.

Выход сухой массы травосмесей с участием сортов клевера лугового в сумме за 2 укоса в вариантах без удобрений составил 6,1-7,2 т/га, с минеральными подкормками 7,8-11,1 т/га. В среднем по опыту прибавка сухой массы при использовании минеральной подкормки за период вегетации была достоверной – 2,6 т/га (НСР₀₅ – 1,2 т/га).

Таблица – Сбор сухой массы бобово-злаковых травосмесей, т/га (2019 г.) /
Table – Yield of dry weight of legumes and cereal mixtures, t/ha (2019)

Состав травосмеси / The composition of the mixture	1-ый укос / 1st mowing		2-ой укос / 2nd mowing		3-й укос / For 2 mowings	
	без удобрений / without fertilizer	NPK	без удобрений / without fertilizer	NPK	без удобрений / without fertilizer	NPK
Клевер луговой Грин + люцерна изменчивая Вера 87 + + тимopheвка луговая ВИК 9 / Meadow clover Green + + variegated alfalfa Vega 87 + timothy grass VIK 9	4,3	6,9	+2,6	±	7,1	11,1
Клевер луговой Кретоновский + люцерна изменчивая Вера 87 + + тимopheвка луговая ВИК 9 / Meadow clover Kretunovsky + + variegated alfalfa Vega 87 + timothy grass VIK 9	4,2	5,6	+1,4	±	7,2	11,0
Клевер луговой Фаленский 86 + люцерна изменчивая Вера 87 + + тимopheвка луговая ВИК 9 / Meadow clover Falensky 86 + + variegated alfalfa Vega 87 + timothy grass VIK 9	4,6	5,6	+1,0	±	7,2	9,5
Клевер луговой Шанс + люцерна изменчивая Вера 87 + + тимopheвка луговая ВИК 9 / Meadow clover Chance + + variegated alfalfa Vega 87 + timothy grass VIK 9	3,9	5,1	+1,2	±	6,1	9,2
Клевер луговой Грин + люцерна изменчивая Вера 87 + овсяница луговая Сахаровская / Meadow clover Green+ variegated alfalfa Vega 87 + meadow fescue Sakharovskaya	3,8	4,4	+0,6	±	6,4	8,3
Клевер луговой Кретоновский + люцерна изменчивая Вера 87 + + овсяница луговая Сахаровская / Meadow clover Kretunovsky + + variegated alfalfa Vega 87 + meadow fescue Sakharovskaya	4,1	4,8	+0,7	±	6,5	9,2
Клевер луговой Фаленский 86 + люцерна изменчивая Вера 87 + + овсяница луговая Сахаровская / Meadow clover Falensky 86 + + variegated alfalfa Vega 87 + meadow fescue Sakharovskaya	3,9	4,8	+0,9	±	6,3	7,8
Клевер луговой Шанс + люцерна изменчивая Вера 87 + + овсяница луговая Сахаровская / Meadow clover Chance + + variegated alfalfa Vega 87 + meadow fescue Sakharovskaya	4,3	5,2	+0,9	±	7,1	8,6
В среднем / Average	4,1	5,3	+1,2	±	6,7	9,3
HCP ₀₅ / LSD ₀₅ для: – частных различий / for particular differences – фактора В – удобрения / for factor В – fertilizers – фактора А – травосмеси / for factor А – grass mixtures – взаимодействия АВ / for interaction АВ	1,2 0,8 0,4 0,4	1,2 0,8 0,4 0,4	1,4 1,0 0,5 0,5	1,7 1,2 0,6 0,6		

Следует отметить, что в зависимости от злакового компонента наиболее продуктивны смеси с участием тимopheевки луговой – 8,6 т/га сухой массы в среднем, на тонну ниже (НСР₀₅ – 0,6 т/га) урожай смесей, в состав которых входила овсяница – 7,6 т/га. Травосмеси с тимopheевкой луговой показали лучшую отзывчивость на минеральные подкормки – сбор сухой массы в среднем увеличился на 3,3 т/га (у травосмесей с овсяницей луговой прибавка в 1,7 раза ниже – 1,9 т/га).

При двухукосном скашивании в первый год пользования травостоями доля первого укоса составила 54-62 %, второго – 38-46 %. В первый год пользования наиболее урожайными и адаптированными к условиям Тверской области были травосмеси с сортами клевера лугового Грин – 6,4-11,1 т/га и Кретуновский – 6,5-11,0 т/га сухой массы.

Анализируя полученные данные в зависимости от сорта клевера лугового в сумме за 2 укоса, наиболее интенсивное накопление растительной массы обеспечили смеси тимopheевки луговой с клеверами Кретуновский и Фаленский 86 – 7,2 т/га и Грин – 7,1 т/га, что позволяет оценить их высокие адаптационные качества при сложившихся быстроменяющихся погодных условиях в период вегетации трав. В смеси с овсяницей луговой наибольшим сбором сухой массы отличились смеси с участием клевера лугового сорта Шанс – 7,1 т/га, выход сухой массы сравниваемых смесей с другими сортами клевера не превышал 6,3-6,5 т/га.

Питательная ценность кормов в зависимости от состава кормовых травосмесей изменялась от 0,18 до 0,32 корм. ед. в 1-ый год пользования травостоями. При применении минеральных подкормок изменений не отмечено, на фоне минерального питания содержание кормовых единиц в 1 кг корма составило 0,21-0,26, в вариантах без удобрений – 0,22-0,26.

Кормовая масса исследуемых травосмесей отличается хорошим качеством, содержание переваримого протеина составило 13,9-23,1 % СВ при энергетической питательности 0,92-1,59. Наиболее высоким содержанием переваримого протеина отличались травосмеси с овсяницей луговой 18,2-19,4%, у смесей с тимopheевкой луговой данный показатель составил 15,9-17,5%.

Заключение. Бобово-тимopheечные и бобово-овсяницево-травосмеси, несмотря на сложные погодные условия гумидной зоны, способны обеспечивать в 1-й год пользования сбор сухой массы за два укоса на неудобренном фоне – 6,7 т/га, на фоне минерального питания – 9,3 т/га (НСР₀₅ – 1,0 т/га), что свидетельствует об эффективности применяемых доз минеральных подкормок (N45P45K45 ранней весной и N15P15K15 – после проведения первого укоса).

Согласно проведенным исследованиям в первый год пользования наиболее продуктивными на осушаемых почвах были травосмеси с тимopheевкой луговой с включением сортов клевера лугового Кретуновский и Грин (11,0-11,1 т/га).

Список литературы

1. Косолапов В. М., Пилипко С. В. Состояние и перспективы селекции многолетних кормовых культур. Кормопроизводство. 2017;(7):25-27. DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2017.2017.10196>
2. Лазарев Н. Н. Урожайность новых сортов клевера лугового и люцерны изменчивой в травосмесях со злаковыми культурами. Кормопроизводство. 2007;(2):8-10.
3. Новоселов Ю. К., Шпаков А. С., Новосёлов М. Ю., Рудоман В. В. Роль бобовых культур в совершенствовании полевого травосеяния. Кормопроизводство. 2010;(7):19-22.
4. Steiner J. J., Alderman S. C. Red clover seed production: VI. Effect and economics of soil pH adjusted by lime application. Crop Science. 2003;43(2):624-630. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/43/2/624>
5. Бычков Г. Н., Прудников А. Д., Литвинова А. Б. Потенциал сортов клевера лугового. Кормопроизводство. 2009;(3):23-24.
6. Волошин В. А., Мальцева Е. В. Сорта клевера лугового разной скороспелости в кормосырьевом конвейере в условиях Пермской области. Кормопроизводство. 2004;(9):27-31.
7. Onuchina O. L., Korneva I. A. Perspective early varieties of red clover for conditions of north-east of European of Russia. Sciences of Europe. 2017;21-3(21):3-7. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30778367>
8. Павлючик Е. Н., Капсамун А. Д., Иванова Н. Н., Силина О. С. Роль многолетних трав в создании устойчивой кормовой базы при конвейерном использовании. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(3):238-246. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.238-246>

9. Косолапов В. М., Пилипко С. В., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур – залог успешного развития кормопроизводства. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(4):35-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374009>

10. Павлючик Е. Н., Капсамун А. Д., Иванова Н. Н., Тюлин В. А., Силина О. С. Использование ранне-спелых сортов клевера лугового в травосмесях на осушаемых землях Нечерноземья. Кормопроизводство. 2019;(9):12-15. DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2019.2019.38412>

11. Онучина О. Л., Корнева И. А. Устойчивость сортов клевера лугового к стрессовым факторам кислой дерново-подзолистой почвы. Сельское хозяйство. 2018;(2):1-8. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2018.2.28120>

12. Онучина О. Л., Тумасова М. И., Грипась М. Н. Новые адаптивные сорта клевера. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2007;(4 (14)):45-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20256598>

13. Онучина О. Л., Грипась М. Н., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В., Корнева И. А. Новый сорт клевера лугового Шанс. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(6(61)):20-24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32375866>

References

1. Kosolapov V. M., Pilipko S. V. *Sostoyanie i perspektivy selektsii mnogoletnikh kormovykh kul'tur*. [Current status and trends in breeding of perennial forage crops]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2017;(7):25-27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2017.2017.10196>

2. Lazarev N. N. *Urozhaynost' novykh sortov klevera lugovogo i lyutserny izmenchivoy v travosmesyakh so zlakovymi kul'turami*. [Productivity of new varieties of meadow clover and variegated alfalfa in grass mixtures with cereal crops]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2007;(2):8-10. (In Russ.).

3. Novoselov Yu. K., Shpakov A. S., Novoselov M. Yu., Rudoman V. V. *Rol' bobovykh kul'tur v sovershenstvovanii polevogo travoseyaniya*. [Role of legumes in perfection of field grass cultivation in Russia]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2010;(7):19–22. (In Russ.).

4. Steiner J. J., Alderman S. C. Red clover seed production: VI. Effect and economics of soil pH adjusted by lime application. *Crop Science*. 2003;43(2):624-630. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/43/2/624>

5. Bychkov G. N., Prudnikov A. D., Litvinova A. B. *Potentsial sortov klevera lugovogo*. [The potential of meadow clover varieties]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2009;(3):23-24. (In Russ.).

6. Voloshin V. A., Mal'tseva E. V. *Sorta klevera lugovogo raznoy skorospelosti v kormosyr'evom konveyere v usloviyakh Permskoy oblasti*. [Varieties of clover meadow of different early maturity in the feed conveyor in the conditions of the Perm region]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2004;(9):27-31.

7. Onuchina O. L., Korneva I. A. Perspective early varieties of red clover for conditions of north-east of European of Russia. *Sciences of Europe*. 2017;21-3(21):3-7. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30778367>

8. Pavlyuchik E. N., Kapsamun A. D., Ivanova N. N., Silina O. S. *Rol' mnogoletnikh trav v sozdanii ustoychivoy kormovoy bazy pri konveyernom ispol'zovanii*. [The role of perennial grasses in creating a sustainable feed base by conveyor use]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(3):238-246. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.238-246>

9. Kosolapov V. M., Pilipko S. V., Kostenko S. I. *Novye sorta kormovykh kul'tur – zalog uspeshnogo razvitiya kormoproizvodstva*. [New varieties of fodder crops is the guarantee of successful development of fodder production]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(4):35-37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374009>

10. Pavlyuchik E. N., Kapsamun A. D., Ivanova N. N., Tyulin V. A., Silina O. S. *Ispol'zovanie rannespeelykh sortov klevera lugovogo v travosmesyakh na osushaemykh zemlyakh Nечернозем'ya*. [Short-season varieties of red clover on the drainage lands of the Non-Chernozem region]. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2019; (9): 12-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2019.2019.38412>

11. Onuchina O. L., Korneva I. A. *Ustoychivost' sortov klevera lugovogo k stressovym faktorom kisloy dervno-podzolistoy pochvy*. [Resistance of varieties of meadow clover to stress factors of acidic sod-podzolic soil]. *Sel'skoe khozyaystvo*. 2018;(2):1-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2018.2.28120>

12. Onuchina O. L., Tumasova M. I., Griпась M. N. *Novye adaptivnye sorta klevera*. [New adaptive varieties of clover]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2007;(4 (14)):45-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20256598>

13. Onuchina O. L., Griпась M. N., Arzamasova E. G., Popova E. V., Korneva I. A. *Novyy sort klevera lugovogo Shans*. [Shans - new red clover variety]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(6(61)):20-24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32375866>

Сведения об авторах

Павлючик Екатерина Николаевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела кормопроизводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5989-6065>

Капсамун Андрей Дмитриевич, доктор с.-х. наук, зав. отделом кормопроизводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3639-8490>

Иванова Надежда Николаевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела кормопроизводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6923-5180>

Пантелеева Татьяна Николаевна, научный сотрудник научно-организационного отдела, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4061-4472>

Епифанова Нина Александровна, старший лаборант-исследователь отдела кормопроизводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Information about the authors

✉ **Ekaterina N. Pavlyuchik**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Feed Production, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, settlement Emmaus, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5989-6065>

Andrey D. Kapsamun, DSc in Agricultural Science, Head of the Department of Feed Production, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, settlement Emmaus, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3639-8490>

Nadezhda N. Ivanova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Feed Production, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, settlement Emmaus, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6923-5180>

Tatyana N. Panteleeva, researcher of the scientific and organizational department, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, settlement Emmaus, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4061-4472>

Nina A. Epifanova, Senior laboratory assistant researcher, the Department of Feed Production, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, settlement Emmaus, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.160-168>

УДК 631.417.1: 631.417.2



Влияние систематического внесения минеральных удобрений и длительного последствия известкования на органическое вещество светло-серой лесной почвы

© 2020. Н. А. Кодочилова^{1✉}, Т. С. Бузынина¹, Л. Д. Варламова²,
Е. А. Катерова²

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

В длительном стационарном опыте на светло-серой лесной почве в условиях Нижегородской области проведены исследования по оценке изменений содержания и состава органического вещества почвы под влиянием систематического применения минеральных удобрений (NPK)1, (NPK)2, (NPK)3 на фоне последствия разового известкования в дозах по 1,0 и 2,0 г. к. (контроль – варианты без удобрений и извести). Исследования проведены по завершению пятой ротации восьмипольного севооборота. Результаты наблюдений показали, что за 40 лет (с 1978 по 2018 год) содержание гумуса в почве (0-20 см) снизилось по вариантам на 0,19-0,52 абс. % по сравнению с исходным (1,60 %), причём на фоне длительного применения минеральных удобрений минерализация его была менее выражена по сравнению с неудобренным контролем. Более высокое содержание гумуса в почве пахотного слоя отмечено в вариантах с минимальными (NPK)1 и повышенными (NPK)2 дозами удобрений – 1,41 и 1,25 % соответственно. Содержание гумуса в неудобренной почве и при внесении высоких (NPK)3 доз минеральных удобрений было практически равноценным – 1,08-1,09 %. Преобладающей группой в составе гумуса были гуминовые кислоты, доля которых в среднем по опыту составила 37,8 % от общего углерода с выраженным снижением от 42,6 % в контроле до 31,8 % при внесении повышенных доз минеральных удобрений. Последствие известкования, проведенного в 1978 г., имело неустойчивый характер и не оказало существенного влияния на содержание и состав органического вещества.

Ключевые слова: гумус, фракционно-групповой состав гумуса, минеральные удобрения, доломитовая мука, длительный стационарный опыт

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема №0767-2018-0063-С-01).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кодочилова Н. А., Бузынина Т. С., Варламова Л. Д., Катерова Е. А. Влияние систематического внесения минеральных удобрений и длительного последствия известкования на органическое вещество светло-серой лесной почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):160-168. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.160-168>

Поступила: 07.02.2020

Принята к публикации: 23.03.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Effect of systematic application of mineral fertilizers and long-term aftereffect of liming on the organic matter of light-grey forest soil

© 2020. Natalya A. Kodochilova^{1✉}, Tatyana S. Buzynina¹, Larisa D. Varlamova²,
Evgenia A. Katerova²

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,

²Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhniy Novgorod, Russian Federation

The studies on assessment of changes in the content and composition of soil organic matter under the influence of the systematic use of mineral fertilizers (NPK)1, (NPK)2, (NPK)3 against the background of the aftereffect of single liming in doses of 1.0 and 2.0 h. a. (control – variants without fertilizers and lime) were conducted in the conditions of the Nizhny Novgorod region in a long – term stationary experiment on light-grey forest soil. The research was carried out upon completion of the fifth rotation of the eight-field crop rotation. The results of the study showed that for 40 years (from 1978 to 2018) the humus content in the soil (0-20 cm) decreased by 0.19-0.52 abs. % in variants as compared to the original (1.60 %); though, humus mineralization was less evident against the background of long-term use of mineral fertilizers compared to

non-fertilized control. The higher humus content in the topsoil was noted in the variants with minimal (NPK)1 and increased (NPK)2 doses of fertilizer – 1.41 and 1.25 %, respectively. The humus content in non-fertilized soil and when applying high (NPK)3 doses of mineral fertilizers was almost identical – 1.08-1.09 %. The predominant group in the composition of humus were humic acids, the content of which in the experiment on average was 37.8 % of the total carbon with an evident decrease from 42.6 % in the control to 31.8% when applying increased doses of mineral fertilizers. The aftereffect of liming, carried out in 1978, was unstable and did not significantly affect the content and composition of soil organic matter.

Keywords: humus, fractional and group composition of humus, mineral fertilizers, dolomite flour, long-term stationary experience

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No.767-2018-0063-C-01).

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

For citation: Kodochilova N. A., Buzynina T. S., Varlamova L. D., Katerova E. A. Effect of systematic application of mineral fertilizers and long-term aftereffect of liming on organic matter of light gray forest soil. Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):160-168. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.160-168>

Received: 07.02.2020

Accepted for publication: 23.03.2020

Published online: 21.04.2020

Известно, что качественное состояние почв сельскохозяйственного назначения зависит от целого ряда факторов как природных, связанных с особенностями почвообразования, так и антропогенных, определяемых системой земледелия в целом, включая набор возделываемых культур и их урожайность, способ обработки почвы, количество и состав используемых агрохимикатов. Основой устойчивого функционирования агропромышленного комплекса в условиях интенсивного ведения сельскохозяйственного производства является сохранение и повышение почвенного плодородия. К числу основных критериев, определяющих уровень плодородия почв, относится содержание органического вещества, которое представляет собой сложную многокомпонентную систему биогенного происхождения [1, 2].

Роль гумуса в почвенном плодородии, в силу особенностей его строения и высокой энергоёмкости, велика и многогранна. Он оказывает влияние на функционирование пищевого и водного режима, физико-химических свойств почвы [3]. Органическое вещество определяет запас в почве азота, необходимого для питания растений и микроорганизмов [4]. Кроме того, гумус оказывает косвенное действие на увеличение содержания питательных веществ в почвенном растворе за счет воздействия гуминовых и фульвокислот на почвенные минералы, что в конечном итоге способствует растворению карбонатов кальция и магния, фосфатов и других солей, переводя эти элементы питания в доступную для растений форму [5]. С содержанием и составом гумуса тесно связано изменение структурного состояния,

он в большой степени определяет буферность почвы [6, 7], обуславливая её устойчивость к воздействию различных факторов среды¹. Гумусовые вещества являются универсальным аккумулятивным резервуаром органического вещества в биосфере, выполняют трофическую функцию, имеют свойство физиологической и биопротекторной активности² [8].

Практически повсеместно наблюдается существенное снижение органического вещества в почвах разных типов [9], что связывают как с усилением антропогенной нагрузки [10], так и с резким дефицитом применения удобрений [11].

Систематическое применение минеральных удобрений, учитывая их физиологическую кислотность, оказывает существенное влияние практически на все почвенные характеристики, включая и содержание органического вещества [12]. Это предопределяет необходимость и важность изучения динамики содержания и состава органического вещества в почве в зависимости от количества и соотношения вносимых удобрений [13]. Результаты многолетних опытов для этих целей представляют большой научный интерес, поскольку позволяют дать более объективную оценку действию удобрительных материалов [14].

Учитывая особую значимость органического вещества в формировании плодородия и буферной способности почв, а также относительную стабильность содержания гумуса, наиболее актуальны и теоретически значимы исследования динамики количественного содержания гумуса и качественного его состава в условиях длительных стационарных опытов.

¹ Костина Ю. Н. Динамика органического вещества серых лесных почв при земледельческом использовании. Дис. канд. биол. наук: 03.00.27 Н. Новгород, 2001. 149 с.

² Пеминова И. В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века. Химия и жизнь. 2008;(1):50-55.

Цель исследований – оценить влияние разных уровней минерального питания растений, обеспечиваемых систематическим применением минеральных удобрений, на фоне последствий различных доз разового известкования (перед закладкой опыта) на содержание и состав органического вещества светло-серой лесной почвы в условиях Нижегородской области.

Материал и методы. Исследования проведены в длительном стационарном опыте, заложенном в 1978 г. на опытном поле Нижегородского НИИСХ (ныне филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). Почва опытного участка светло-серая лесная легкосуглинистая средне-

кислая ($pH_{\text{кел}} 4,3$), слабогумусированная (гумус 1,6 %), высокообеспеченная подвижными формами фосфора (270 мг/кг) и калия (225 мг/кг).

Опыт проводили в 8-польном севообороте по следующей схеме: фактор А – известкование в дозах 0; 1,0; 2,0 г. к.; фактор Б – разные фоны минерального питания: без удобрений – (NPK)0, базовый – (NPK)1, повышенный – (NPK)2, высокий – (NPK)3. Таким образом, опыт включал 12 вариантов, повторность – 4-кратная, расположение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки 108 м², учетная – 64 м². Чередование культур в пятой ротации севооборота и дозы вносимых удобрений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Схема внесения минеральных удобрений в длительном стационарном опыте /
Table 1 – Scheme for applying mineral fertilizers in a long-term stationary experiment

Год / Year	Культура / Crop	Доза минеральных удобрений, кг д.в./га / Dose of mineral fertilizers, kg. a.i./ha			
		контроль (NPK)0 / control (NPK)0	базовая (NPK)1 / base (NPK)1	повышенная (NPK)2 / increased (NPK)2	высокая (NPK)3 / high (NPK)3
2011	Однолетние травы / Annual herbs	БЕЗ УДОБРЕНИЙ / WITHOUT FERTILIZERS	N45P30K45	N90P60K90	N135P90K135
2012- 2014	Многолетние бобовые травы (лядвенец 1-3 г.п.) / Perennial leguminous herbs (Lotus corniculatus L. 1-3 y.s.)		P40K60	P80K120	P120K180
2015	Озимая пшеница / Winter wheat		N60P45K45	N120P90K90	N180P135K135
2016	Картофель / Potato		N45P45K60	N90P90K120	N135P135K180
2017	Кукуруза / Corn		N90P60K90	N180P120K180	N270P180K270
2018	Ячмень / Barley		N45P30K45	N90P60K90	N135P90K135
Насыщенность / Saturation			N31,9P41,3K51,9	N63,8P82,5K103,8	N95,6P123,8K155,6

Доломитовая мука внесена один раз при закладке опыта в 1978 году под вспашку. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия в соответствии с приведённой схемой (табл. 1).

Проведение и уход за опытом осуществляли в соответствии с требованиями методики³, обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа с использованием статпакета STATIST. Содержание гумуса в почве определяли по

Тюрину (ГОСТ 26213-91); фракционный состав гумуса – по методу Кононовой и Бельчиковой⁴. Отбор проб почвы для исследований проводили в 2018 году после уборки ячменя.

Результаты и их обсуждение. Радиональное использование удобрений – это важнейший источник сохранения (повышения) плодородия почвы, в том числе и повышения содержания органического вещества. Определение содержания гумуса в светло-серой лесной почве проведено по завершению 5-й ротации севооборота в 2018 году, результаты анализов представлены на рисунке.

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

⁴ Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. Практикум по почвоведению. М., 2002. С. 53-55.

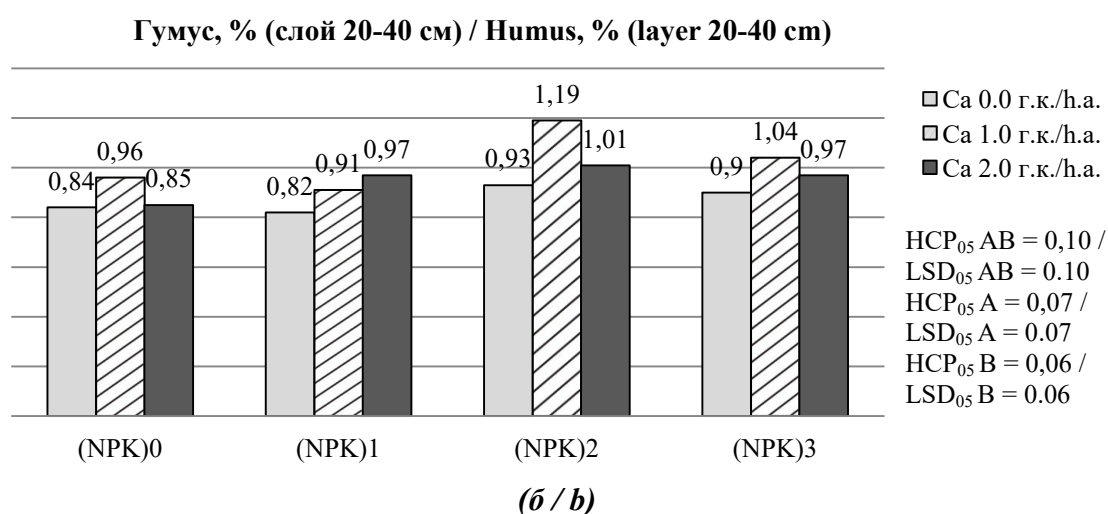
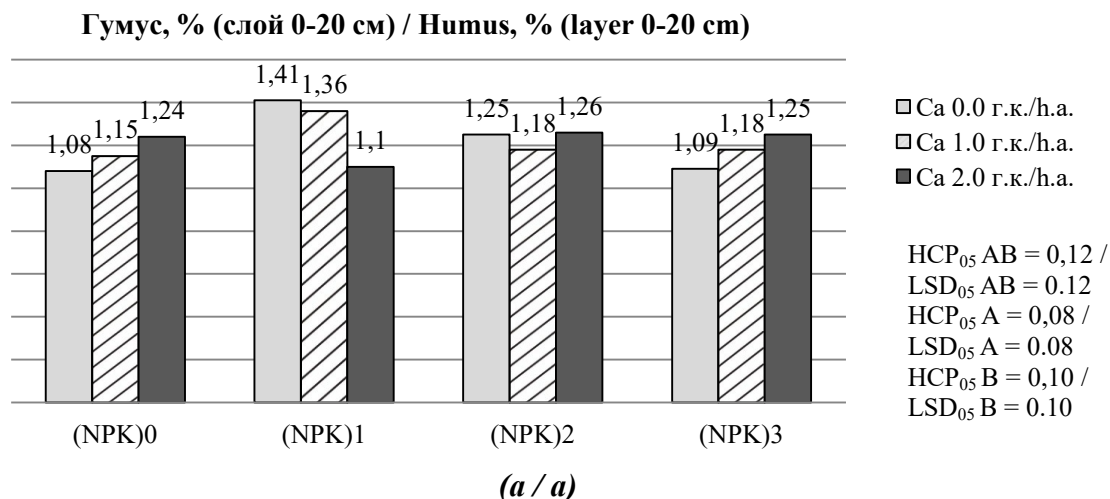


Рис. Содержание общего гумуса (%) в светло-серой лесной почве в слое 0-20 см (а) и слое 20-40 см (б) на различных фонах минеральных удобрений (фактор В) и последствий разных доз известкования (фактор А) /

Fig. The content of total humus (%) in light gray forest soil in a layer of 0-20 cm (a) and a layer of 20-40 cm (b) on different backgrounds of mineral fertilizers (factor B) and the aftereffect of different doses of liming (factor A)

Анализируя полученные данные, можно отметить, что за сорок лет проведения опыта содержание гумуса в почве существенно снизилось по сравнению с исходным (1,60 %), изменяясь по вариантам от 1,08 % (контроль) до 1,41 % (базовая доза) без известкования. При этом, как правило, систематическое применение минеральных удобрений не оказало негативного действия на содержание в пахотном слое почвы органического вещества по сравнению с контролем, что может быть обусловлено более высоким накоплением корневых и пожнивных остатков вследствие роста урожайности опытных культур при улучшении условий минерального питания [15].

Более высокое содержание гумуса в почве пахотного слоя было в вариантах с базовой

(минимальной) и повышенной ((NPK)2) дозами удобрения – соответственно на 0,33 и 0,17 абс.% выше, чем в контроле. Содержание гумуса в неудобренной почве и при внесении высоких ((NPK)3) доз минеральных удобрений было практически равноценным.

Последствие доломитовой муки имело весьма неустойчивый характер, что, в целом, вполне закономерно, учитывая, что с момента проведения известкования прошло 40 лет. Так, на фоне базовой дозы минеральных удобрений наблюдали явное снижение (на 0,05-0,31 абс.%) содержания органического вещества в произвесткованной ранее почве, в контроле (0,07-0,16 абс.%) и при высоких дозах ((NPK)3) (0,09-0,16 абс.%), напротив, выявлено последовательное его

увеличение, а при повышенных дозах минеральных удобрений ((NPK)2) эффект последствие доломитовой муки отсутствовал.

В подпахотном слое почвы содержание органического вещества по вариантам опыта изменялось в интервале от 0,82 до 1,19 % и в целом было на 27 отн.% ниже, чем в слое 0-20 см, что соответствует данному подтипу почв.

В отличие от пахотного слоя, относительно более высокое содержание гумуса было в вариантах с повышенной ((NPK)2) дозой удобрения, максимум – 1,19 % – на фоне одинарной дозы доломитовой муки. При этом четкой зависимости изменения анализируемого показателя от дозы внесённых удобрений, либо последствие известкования не выявлено.

Гумусовые вещества – это основная органическая составляющая почвы. Они участвуют в её структурообразовании, накоплении питательных элементов и микроэлементов в доступной для растений форме, регулировании геохимических потоков металлов в водных и почвенных экосистемах. Гумусовые вещества образуются при разложении растительных и животных остатков под действием микроорганизмов и абиотических факторов среды [16], причём внешние факторы оказывают значимое влияние на соотношение разных групп гумусовых веществ в составе гумуса.

Результаты определения состава органического вещества в изучаемой светло-серой лесной почве представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Влияние разных уровней минерального питания растений и длительного последствие известкования на фракционно-групповой состав гумуса в слое 0-20 см (метод Кононовой и Бельчиковой), % /

Table 2 – Effect of different levels of mineral nutrition of plants and long aftereffect of liming on the fractional and group composition of humus in 0-20 cm soil layer (method by Kononova and Belchikova), %

Вариант / Variant	C _{ФК}		C _{ГК}		НО*	C _{ГК} / C _{ФК}
	I**	2**	I**	2**		
	% от C _{общ} / % to C _{total}					
Контроль / Control	25,54	8,63	30,98	9,65	25,2	1,19
Ca 1,0 г. к. / Ca 1,0 h.a.	31,43	5,21	33,57	4,29	25,5	1,03
Ca 2,0 г. к. / Ca 2,0 h.a.	21,62	2,70	32,11	10,47	26,1	1,36
(NPK)1	34,76	1,83	28,05	9,36	26,0	1,02
Ca 1,0 г. к. + (NPK)1	27,46	10,88	19,38	16,38	25,9	0,93
Ca 2,0 г. к. + (NPK)1	25,88	4,46	21,88	18,28	29,5	1,32
(NPK)2	26,67	9,76	19,67	14,00	29,9	0,92
Ca 1,0 г. к. + (NPK)2	27,21	9,01	25,32	10,30	28,2	0,98
Ca 2,0 г. к. + (NPK)2	28,67	7,33	21,33	14,37	28,3	0,99
(NPK)3	30,19	4,73	27,16	9,32	28,6	1,04
Ca 1,0 г. к. + (NPK)3	24,58	9,38	21,31	15,63	29,1	1,09
Ca 2,0 г. к. + (NPK)3	27,00	11,08	19,79	12,03	30,1	0,84

*НО – Негидролизующий остаток / Non-hydrolyzable residue

**Фракции гуминовых и фульвокислот / Fractions of humic and fulvic acids

Анализируя групповой состав гумуса, отмечаем, что доли отдельных групп в почве пахотного слоя сопоставимы при относительном превосходстве гуминовых кислот, доля которых в среднем по опыту составляет 37,8 %; доля фульвокислот в среднем составляет 34,5 %, а негидролизующий остаток (гумины) – 27,7 % от общего количества органического углерода. При этом отмечена тенденция к снижению доли гуминовых кислот и

увеличению количества гуминов при повышении доз минеральных удобрений.

Наиболее высокая доля фульвокислот – 38,3 % – выявлена в варианте с базовой дозой минеральных удобрений на фоне последствие одинарной дозы известки, а минимальная – 24,3 % – в варианте без удобрений на фоне Ca 2,0 г. к.; для гуминовых кислот эти цифры составили 42,6 и 31,8 % соответственно в вариантах без удобрений и с тройной дозой удобрений на фоне последствие известкова-

ния 2 г. к.; для негидролизующего остатка – 25,2 % (контроль) и 30,1 % (тройная доза удобрений на фоне Ca 2,0 г. к.). Последствие

известкования в целом оказало неоднозначное влияние на соотношение между анализируемыми группами гумусовых веществ.

Таблица 3 – Влияние разных уровней минерального питания растений и длительного последствие известкования на фракционно-групповой состав гумуса в слое 20-40 см (метод Кононовой и Бельчиковой), % /

Table 3 – Effect of different levels of mineral nutrition of plants and long aftereffect of liming on the fractional and group composition of humus in 20-40 cm soil layer (method by Kononova and Belchikova), %

Вариант / Variant	C _{ФК}		C _{ГК}		НО*	C _{ГК} /C _{ФК}
	I**	2**	I**	2**		
	% от C _{общ} / % to C _{total}					
Контроль / Control	31,15	5,77	28,40	9,62	25,1	1,03
Ca 1,0 г. к. / Ca 1,0 h.a.	26,47	5,92	34,42	7,89	25,3	1,31
Ca 2,0 г. к. / Ca 2,0 h.a.	25,30	9,61	29,22	9,87	26,0	1,12
(NPK)1	24,04	10,89	30,17	7,56	27,3	1,08
Ca 1,0 г. к. + (NPK)1	27,06	9,04	27,11	10,79	26,0	1,05
Ca 2,0 г. к. + (NPK)1	22,41	8,62	31,46	11,21	26,3	1,38
(NPK)2	23,08	7,92	25,62	15,38	28,0	1,32
Ca 1,0 г. к. + (NPK)2	21,88	8,13	31,74	11,25	27,0	1,43
Ca 2,0 г. к. + (NPK)2	27,16	8,11	14,53	22,30	27,9	1,04
(NPK)3	22,18	6,85	23,28	19,59	28,1	1,48
Ca 1,0 г. к. + (NPK)3	24,44	6,67	29,44	10,45	29,0	1,28
Ca 2,0 г. к. + (NPK)3	23,84	6,98	26,26	14,02	28,9	1,31

* НО – Негидролизующий остаток, / Non-hydrolyzable residue

**Фракции гуминовых и фульвокислот / Fractions of humic and fulvic acids

Отмечено, что тип гумуса изменялся от фульватно-гуматного к гуматному. В почве двух вариантов – без внесения удобрений (контроль) и при использовании базовых норм ((NPK)1) с учётом последствие двойной дозы доломитовой муки (Ca 2,0 г. к.), в соответствии с классификацией Л. Н. Александровой⁵, тип гумуса характеризовался как гуматный (отношение гуминовых кислот к фульвокислотам более 1,2), в остальных вариантах – фульватно-гуматный (0,8-1,2).

Анализируя фракционный состав гумусовых кислот, видим, что существенно преобладают первые, наиболее подвижные фракции как гуминовых, так и фульвокислот. Отмечаем, что доля первой фракции гуминовых кислот в целом в 2,1 раза выше доли фракции, связанной с кальцием, а для фульвокислот преимущество первой фракции – в 4 раза. Внесение удобрений в сочетании с последствием доломитовой муки несколько повышало долю второй фракции гуминовых кислот,

оказывая значительно меньшее действие на состав фульвокислот.

Состав органического вещества в почве подпахотного (20-40 см) слоя также достаточно сильно различался по вариантам опыта. Как и в пахотном слое, в составе гумусовых веществ преобладает доля гуминовых кислот, составляющая в среднем по опыту 40,2 %, на долю фульвокислот приходится 32,7 %, а негидролизующий остаток составляет 27,1 % от общего количества органического углерода. Наибольшее количество фульвокислот – 36,9 % – выявлено в контрольном варианте, а минимальное – 29,0 % – в варианте с тройной дозой минеральных удобрений; для гуминовых кислот эти цифры соответственно составили 43,0 и 36,8 % (вариант с повышенной ((NPK)2) дозой удобрений на фоне последствие одинарной и двойной доз доломитовой муки соответственно), а для негидролизующего остатка – 25,1 % (контроль) и 29,0 % (тройная доза удобрений на фоне Ca 1,0 г. к.).

⁵ Донских И. Н., Назарова А. В., Новицкий М. В., Чернов Д. В. К 100-летию со дня рождения Людмилы Николаевны Александровой. Почвоведение, 2009;(1):124-126.

Гумус почвы характеризуется преимущественно как фульватно-гуматный в вариантах без внесения удобрений и при использовании их в базовой (одинарной) дозе, как гуматный – при внесении повышенной (двойная) и высокой (тройная) доз минеральных удобрений. При оценке последствий доломитовой муки на тип гумуса, как и в отношении ранее рассмотренных показателей, определённых закономерностей не выявлено.

Оценивая фракционный состав гумуса, видим, что и подпахотный слой почвы отличается более высоким содержанием подвижных фракций гумусовых кислот. При этом для фульвокислот различия между фракциями более выражены, чем для гуминовых. Причём, если для гуминовых кислот среднее соотношение между фракциями является таким же, как в пахотном слое, то для фульвокислот наблюдается некоторое «сглаживание» различий, преобладание первой фракции составляет не в 4 раза, как в пахотном слое, а в 3,1 раза.

Заключение. Таким образом, можно констатировать, что содержание и состав органического вещества почвы в условиях 8-польного севооборота к завершению пятой ротации существенно изменились.

Содержание гумуса в почве неудобренного варианта в 2018 г. снизилось по отноше-

нию к 1978 году на 0,52 абс. %. Систематическое применение минеральных удобрений обеспечило повышение содержания органического вещества относительно контроля в слое 0-20 см на 0,17-0,33 абс. % с максимумом при использовании базовой (одинарной) дозы и на 0,06-0,09 абс. % в слое 20-40 см с преимуществом средней дозы удобрений.

При анализе качественного состава гумуса установлено, что в целом доли отдельных групп сопоставимы при относительном превосходстве гуминовых кислот – 31,8-42,6 % (слой 0-20 см) и 36,8-43,0 % (слой 20-40 см) с выраженной тенденцией повышения доли негидролизуемого остатка в подпахотном слое (29,0-36,9 % против 25,2-30,1 % в пахотном слое).

В составе гуминовых и фульвокислот преобладает первая фракция, количественно превосходящая фракцию кислот, связанную с кальцием в 2,1 и 4,0 раза соответственно. На фоне внесения удобрений в сочетании с последствием доломитовой муки отмечена тенденция повышения доли второй фракции гуминовых кислот, без изменения состава фульвокислот.

Последствие известки, в целом, имело неустойчивый характер и не зависело от внесённых в 1978 г. доз доломитовой муки.

Список литературы

1. Серая Т. М., Богатырева Е. Н. Гумус – важнейший страж плодородия почв. Минск: НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, 2013. С. 12-18. Режим доступа: <http://www.science.by/upload/uf/481/4818bcb8e3f08c33f2e0d2affb06b5e.pdf>
2. Ерохова А. А., Макаров М. И., Могунов Е. Г., Рыжова И. М. Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне. Почвоведение. 2014; (11):1308-1314. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22403783>
3. Исмагилова Н. Х. Изменение содержания и качества органического вещества в агросерых почвах Нечерноземной зоны в зависимости от антропогенного воздействия. Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2010;(65):13-22. Режим доступа: <https://bulletin.esoil.ru/jour/article/view/476>
4. Борисова Е. Е. Влияние предшественника на показатели плодородия светло-серых лесных почв. Вестник НГИЭИ. 2011;(3(4)):80-97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19071967>
5. Robert E. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. Organic Lawn Care. 2015. URL: <https://www.lawnsite.com/threads/the-importance-of-organic-matter-and-soil-health.438700/>
6. Груздева Н. А., Котченко С. Г., Ерёмин Д. И. Динамика содержания и запасов гумуса в агросерых лесных почвах Северного Зауралья. Плодородие. 2017; (3(96)):16-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29823041>
7. Vlček V., Štrálková R., Podešvová J., Pokorný E. Changes in the soil organic matter supply in top soil and sub soil caused by cereals grown in crop rotations. Acta Univ. agric. etsilvic. Mendel.Brun. 2007;(55(5)):205-210. DOI: <http://doi.org/10.11118/actaun200755050205>
8. Шаповалова Н. Н., Менькина Е. А. Агрохимическое состояние и биологическая активность почвы в последствии длительного применения минеральных удобрений. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(5(73)): 43-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36394582>
9. Жиругов Р. Т. Почва просит помощи. Земледелие. 2014;(6):3-4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochva-prosit-pomoschi/viewer>

10. Шаповалова Н. Н., Годунова Е. И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья. Плодородие. 2019;(1(106)):11-14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37072818>
11. Плотников А. А., Лучник Н. А. Применение средств химизации и динамика почвенного плодородия в Костромской области. Агрохимический вестник. 2015;(3):12-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23687373>
12. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного под влиянием дифференцированного применения минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):144-152. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>
13. Li W., Chen H., Cao C., Zhao Z., Qiao Y., Du S. Effects of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen dynamics in a vertisol in Eastern China. Open Journal of Soil Science. 2018;8(3):99-117. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojss.2018.83008>
14. Корчагин А. А., Мазиров М. А. Влияние систем удобрений на динамику содержания, групповой состав гумуса серых лесных почв и продуктивность севооборотов. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014(5):32-38. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21572982>
15. Комиссарова В. С., Богомолова Ю. А., Сюбаева А. О. Влияние длительного последствия известкования и систематического применения удобрений на кислотность светло-серой лесной почвы. Плодородие. 2018;(2(101)):6-8. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2018.101.03>
16. Mariaselvam A. A., Dandeniya W. S., Indrarsthe S. P., Dharmakeerthi R. S. High C/N materials mixed with cattle manure as organic amendments to improve soil productivity and nutrient availability. Tropical Agricultural Research. 2015;(25(2)):201-213. DOI: <https://doi.org/10.4038/tar.v25i2.8142>

References

1. Seraya T. M., Bogatyreva E. N. *Gumus – vazhnyy strazh plodorodiya pochv*. [Gumus – major guard soil fertility]. Minsk: NPTs NAN Belarusi po bioresursam, 2013. pp. 12-18. URL: <http://www.science.by/upload/uf/481/4818bcbce3f08c33f2e0d2affb06b5e.pdf>
2. Erokhova A. A., Makarov M. I., Mogunov E. G., Ryzhova I. M. *Izmenenie sostava organicheskogo veshchestva dervno-podzolistykh pochv v rezul'tate estestvennogo vosstanovleniya lesa na pashne*. [Effect of the natural reforestation of an arable land on the organic matter composition in soddy-podzolic soils]. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2014; (11):1308-1314. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22403783>
3. Ismagilova N. Kh. *Izmenenie soderzhaniya i kachestva organicheskogo veshchestva v agroserykh pochvakh Nechernozemnoy zony v zavisimosti ot antropogennogo vozdeystviya*. [Changes in the content and quality of organic matter in agrarian soils of non-chernozem zone depending on anthropogenic impact]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* = Dokuchaev Soil Bulletin. 2010;(65):13-22. (In Russ.). URL: <https://bulletin.esoil.ru/jour/article/view/476>
4. Borisova E. E. *Vliyanie pedshestvennika na pokazateli plodorodiya svetlo-serykh lesnykh pochv*. [Impact of the previous plant on the fertility of light grey forest soil]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGIEI. 2011;(3(4)):80-97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19071967>
5. Robert E. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. Organic Lawn Care. 2015. URL: <https://www.lawnsite.com/threads/the-importance-of-organic-matter-and-soil-health.438700/>
6. Gruzdeva N. A., Kotchenko S. G., Eremin D. I. *Dinamika soderzhaniya i zapasov gumusa v agroserykh lesnykh pochvakh Severnogo Zaural'ya*. [Dynamics of humus content and reserve in agrogray forest soils of Northern Trans-Urals]. *Plodородие*. 2017; (3(96)):16-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29823041>
7. Vlček V., Stráfková R., Podešvová J., Pokorný E. Changes in the soil organic matter supply in top soil and sub soil caused by cereals grown in crop rotations. Acta Univ. agric. et silvic. Mendel.Brun. 2007;(55(5)):205-210. DOI: <http://doi.org/10.11118/actaun200755050205>
8. Shapovalova N. N., Men'kina E. A. *Agrokhimicheskoe sostoyanie i biologicheskaya aktivnost' pochvy v posledstviy dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobreniy*. [Agrochemical state and biological activity of soil conditioned by the effect of long-term application of mineral fertilizers]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(5(73)): 43-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36394582>
9. Zhirugov R. T. *Pochva prosit pomoshchi*. [Soil asks for help]. *Zemledelie*. 2014;(6):3-4. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochva-prosit-pomoschi/viewer>
10. Shapovalova N. N., Godunova E. I. *Posledstvie 30-letnego primeneniya mineral'nykh udobreniy na produktivnost' chernozema obyknovennogo Tsentral'nogo Predkavkaz'ya*. [The aftereffect of 30 years application of mineral fertilizers on the productivity of ordinary chernozem of the Central Ciscaucasus]. *Plodородие*. 2019;(1(106)):11-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37072818>
11. Plotnikov A. A., Luchnik N. A. *Primenenie sredstv khimizatsii i dinamika pochvennogo plodorodiya v Kostromskoy oblasti*. [Chemical means application and soil fertility in Kostroma region]. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2015;(3):12-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23687373>

12. Artem'ev A. A., Gur'yanov A. M. *Izmenenie agrokhimicheskikh pokazateley chernozema vyshchelochennogo pod vliyaniem differentsirovannogo primeneniya mineral'nykh udobreniy*. [Changes in agrochemical parameters of leached chernozem under the influence of differentiated use of minerals]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(2):144-152. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>

13. Li W., Chen H., Cao C., Zhao Z., Qiao Y., Du S. Effects of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen dynamics in a vertisol in Eastern China. *Open Journal of Soil Science*. 2018;8(3):99-117. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojss.2018.83008>

14. Korchagin A. A., Mazirov M. A. *Vliyaniye sistem udobreniy na dinamiku soderzhaniya, gruppovoy sostav gumusa serykh lesnykh pochv i produktivnost' sevooborotov*. [Effect of fertilizers on dynamics of humus content and humus group composition of gray forest soils and on crop rotation efficiency]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2014(5):32-38. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21572982>

15. Komissarova V. S., Bogomolova Yu. A., Syubaeva A. O. *Vliyaniye dlitel'nogo posledeystviya izvestkovaniya i sistematicheskogo primeneniya udobreniy na kislotnost' svetlo-seroy lesnoy pochvy*. [The influence of long after-effect of liming and systematic application of mineral fertilizers on the acidity indicators of light-grey forest soil]. *Plodorodie*. 2018;(2(101)):6-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2018.101.03>

16. Mariaselvam A. A., Dandeniya W. S., Indraratne S. P., Dharmakeerthi R. S. High C/N materials mixed with cattle manure as organic amendments to improve soil productivity and nutrient availability. *Tropical Agricultural Research*. 2015;(25(2)):201-213. DOI: <https://doi.org/10.4038/tar.v25i2.8142>

Сведения об авторах

✉ **Кодочилова Наталья Александровна**, кандидат биол. наук, зам. директора по научной работе, ведущий научный сотрудник Нижегородского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», с. п. Селекционной Станции, д. 38, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1971-2668>, e-mail: korchenkina.natalia@yandex.ru

Бузынина Татьяна Сергеевна, лаборант-исследователь отдела земледелия и кормопроизводства Нижегородского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», с. п. Селекционной Станции, д. 38, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3113>, e-mail: Tattiana121@yandex.ru

Варламова Лариса Дмитриевна, доктор с.-х. наук, профессор кафедры агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Нижегородская область, Российская Федерация, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3113>, e-mail: larisa.varlamova@list.ru

Катерова Евгения Алексеевна, магистр 2 курса кафедры агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Нижегородская область, Российская Федерация, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5871-7050>, e-mail: ya.evgesha0507@yandex.ru

Information about the authors

✉ **Natalya A. Kodochilova**, PhD in Biology, deputy director for scientific work, leading researcher, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, the settlement of Breeding station, 38, Kstovo district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1971-2668>, e-mail: korchenkina.natalia@yandex.ru

Tatyana S. Buzynina, research assistant, the Department of Soil Management and Fodder Production, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, the settlement of Breeding station, 38, Kstovo district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3113>, e-mail: Tattiana121@yandex.ru

Larisa D. Varlamova, DSc in Agricultural Science, professor at the Department of Agrochemistry and Agroecology, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3113>, e-mail: larisa.varlamova@list.ru

Evgenia A. Katerova, 2nd year master student, the Department of Agrochemistry and Agroecology, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarin Avenue, 97, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 603107, e-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5871-7050>, e-mail: ya.evgesha0507@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>

УДК 636.082:575.174.015.3



Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам

© 2020. В. М. Кузнецов ✉

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

Проведены сравнительные исследования восьми методов оценки генетической дифференциации по микросателлитным (STR) маркерам (11 локусов) ДНК на примере семи породных выборок ($N = 84$) молочного скота. Диапазон показателей генетического разнообразия выборок был: числа аллелей на локус – 3,5–6,2, числа эффективных аллелей на локус – 2,4–4,3, индекса Шеннона – 0,95–1,56, наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности – 0,56–0,97 и 0,53–0,75. Сводные оценки генетической дифференциации методами группы А (F_{ST} , G_{ST} и $G_{ST(NED)}$) составили 13,4, 10,3 и 11,8 % ($p_{perm} < 0,001$); различия между оценками были статистически незначимыми. Оценки методами группы В ($G'_{ST(HED)}$, $G''_{ST(HED)}$, D_{EST}) составили 36,4, 37,5 и 29,2 % ($p_{perm} < 0,001$); различия между оценками также были статистически незначимыми. Оценки, полученные методами группы В, статистически значимо превышали оценки методами группы А почти в 3 раза. Методами групп А, В и С (G_{DN} и uG_{DN}) были рассчитаны парные по выборкам генетические дистанции. Несмотря на значительные различия в оценках, тест Мантеля показал высокую степень соответствия матриц генетических дистанций ($R_M \geq 0,97$; $p_{perm} < 0,001$), которая проявилась в проекциях генетических отношений породных выборок на плоскости 1 и 2 главных координат. В совокупности две первые главные координаты объясняли 97–99 % STR-изменчивости в матрицах генетических дистанций. Можно полагать, что при оценке текущей дифференциации популяций по STR-маркерам следует использовать методы группы В. Из них – D_{EST} -статистику, как не зависящую от уровня внутрипопуляционной гетерозиготности. При исследовании пространственной ординации генофондов популяций, по всей вероятности, правомерно использовать любой метод.

Ключевые слова: микросателлиты, разнообразие, генная дифференциация, генетическая дистанция, анализ главных координат, животноводство

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № АААА-А19-119042290136-4).

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кузнецов В. М. Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):169–182.

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>

Поступила: 22.01.2020

Принята к публикации: 03.03.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Comparison of methods for evaluating genetic differentiation of populations by microsatellite markers

© 2020. Vasilii M. Kuznetsov ✉

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

Comparative studies of eight methods for evaluation of genetic differences by microsatellite (STR) markers (11 loci) DNA were carried out using the example of seven breed samples ($N = 84$) of dairy cattle. The range of indicators of genetic diversity of samples was as follows: the number of alleles per locus 3.5–6.2, the number of effective alleles per locus – 2.4–4.3, the Shannon index – 0.95–1.56, the observed and expected heterozygosity – 0.56–0.97 and 0.53–0.75. Evaluation summary of genetic differentiation by group A methods (F_{ST} , G_{ST} and $G_{ST(NED)}$) were 13.4, 10.3, and 11.8% ($p_{perm} < 0.001$); the differences between the estimates were statistically insignificant. Estimates by group B methods ($G'_{ST(HED)}$, $G''_{ST(HED)}$, D_{EST}) were 36.4, 37.5 and 29.2% ($p_{perm} < 0.001$); differences between the estimates were also statistically insignificant. Estimates obtained by group B methods were statistically significantly higher than those obtained by group A methods by almost 3 times. Methods of groups A, B, and C (G_{DN} and uG_{DN}) were used to calculate paired genetic distances in the samples. Despite significant differences in estimates, the Mantel test showed a high degree of correspondence of the genetic distance matrices ($R_M \geq 0.97$; $p_{perm} < 0.001$), which was manifested in the projections of genetic relations of breed samples on plane 1 and 2 of the principal coordinates. The first two principal coordinates explained 97–99% of STR variation in the genetic distance matrices. It can be assumed that when assessing the actual differentiation of populations by STR-markers, the methods of group B should

be used and among them the statistics of D_{EST} as independent of the level of mean within-subpopulation heterozygosity. In the study of spatial ordination of gene pools of populations, in all probability, it is reasonably to use any method.

Keywords: microsatellites, diversity, genetic differentiation, genetic distance, principal coordinate analysis, animal breeding

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. AAAA-A19-119042290136-4).

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

For citation: Kuznetsov V. M. Comparison of methods for evaluating genetic differentiation populations by microsatellite markers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):169-182. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182>

Received: 22.01.2020

Accepted for publication: 03.03.2020

Published online: 21.04.2020

В популяциях большинства видов животных имеет место определенный уровень генетической дифференциации (структурирования), что может быть связано с различными факторами. Так, природные популяции дифференцируются вследствие эволюционных процессов (мутаций, миграции, дрейфа генов, естественного отбора), из-за эколого-географических барьеров и изоляции расстоянием (популяции в непосредственной близости генетически более сходны, чем отдаленные).

Популяции одомашненных животных могут относиться к разным породам, иметь разную численность и несхожие системы спаривания, с разной интенсивностью подвергаться давлению отбора и обмениваться генетическим материалом. Всяческие знания о генетической дифференциации популяций могут быть полезными при выборе улучшающей породы или пород для скрещивания, при принятии решения по сохранению генофонда той или иной вытесняемой породы. В случае чистопородного разведения селекционерам небезынтересно знать генетические различия между линиями, племенными стадами (хозяйствами), при групповом подборе – для минимизации коэффициента инбридинга. Поэтому поиск объективных методов контроля за уровнем генетического разнообразия как внутри, так и между популяциями (породами, линиями, стадами, группами животных) продолжает оставаться актуальным.

При исследовании генетического разнообразия популяций предпочтение отдают полиморфизму на уровне ДНК. Наиболее часто используют высокополиморфные локусы микросателлитной ДНК (Simple Tandem Repeats, STR – простые тандемные последовательности), которые нередко имеют «большое разнообразие аллелей» гена [1]. В последние годы – однонуклеотидный полиморфизм (Single Nucleotide Polymorphism, SNP – однонуклеотидные позиции в геномной ДНК). SNP-маркеры в основном имеют два аллельных

состояния гена. Несмотря на то, что SNP-маркеры считают перспективными для применения в популяционно-генетических анализах [2], STR-маркеры более информативны при изучении близкородственных групп [3]. Они обладают «беспрецедентной способностью» обнаруживать и описывать даже небольшие генетические различия между популяциями; вследствие наличия локусов с большим числом аллелей дают лучшие оценки генетических дистанций [4, 1]. Оба типа маркеров позволяют разложить генетическое разнообразие на внутри- и межпопуляционные компоненты.

В подобных работах, как правило, рассматриваются выборки из нескольких популяций (пород, линий, стад) и целый ряд локусов. Для измерения разнообразия между популяциями используются меры генетического сходства/различия. Оценка по группе популяций характеризует сводный (усреднённый) показатель *генетической дифференциации*. С помощью сводных показателей проявляются межпопуляционные взаимоотношения, скрытые под массой цифр. Мету генетических различий между парой популяций называют «Genetic Distance» – *генетическая дистанция*.

Для оценки генетической дифференциации применяется, как правило, индекс фиксации Райта [5], приспособленный для полиморфных локусов M. Nei [6, 7] – F_{ST} . С введением поправки на гармоничный средний размер выборок и родственное спаривание M. Nei назвал индекс «коэффициентом генной дифференциации» – G_{ST} [8]. В последующем был предложен несмещённый вариант G_{ST} – $G_{ST(NEI)}$, учитывающий число популяций [9].

Вместе с тем было показано, что при анализе STR-маркеров уровень гетерозиготности в пределах популяций оказывает негативное влияние на F_{ST} (G_{ST} , $G_{ST(NEI)}$), сужая диапазон их оценок [10]. Были предложены различные способы устранения этого недостатка. Так, P. W. Hedrick ввёл стандартизацию G_{ST} на его возможное максимальное значение –

$G'_{ST(NEI)}$ [11]. Он также предложил стандартизировать $G_{ST(NEI)}$ и рассчитывать $G''_{ST(NEI)}$. Альтернативный метод разработал L. Jost [12]. Его статистика, D_{EST} – «истинная аллельная дифференциация», базируется на изменчивости эффективного числа аллелей (в отличие от предыдущих, в основе которых ожидаемая гетерозиготность). Для оценки генетических различий между двумя (суб)популяциями обычно используют стандартную (G_{DN}) и/или несмещённую (uG_{DN}) дистанции M. Nei, которые есть логарифмы нормированных коэффициентов идентичности аллельных профилей [6, 13].

Было показано, что только в 15% зарубежных публикаций использовались методы, предложенные P. W. Hedrick [14]. В российских работах в основном употребляются F_{ST} -статистика и дистанция Nei. Из последних публикаций можно отметить такие, как: исследование происхождения девяти российских (местных) пород крупного рогатого скота с использованием STR- [15] и SNP-маркеров [16], генетическая дифференциация 19 пород крупного рогатого скота России по SNP-маркерам [17], полногеномный SNP-анализ происхождения, селекции и адаптации российских пород скота [18], STR-дифференциация региональных популяций холмогорского скота [19], SNP-разнообразие и популяционная структура 25 местных пород овец [20], дифференциация региональных популяций романовских овец по STR-маркерам [21], дифференциация линий по STR-маркерам в чистокровной верховой породе лошадей [22], STR-дифференциация четырёх пород свиней [23], генетическое разнообразие по SNP-маркерам популяций domesticiрованных и диких оленей [24] и дифференциация дальневосточных пчёл по STR-маркерам [25].

Представленные выше методы можно условно объединить в три группы: «группа А» – F_{ST} , G_{ST} и $G_{ST(NEI)}$ статистики, «группа В» – статистики $G'_{ST(NEI)}$, $G''_{ST(NEI)}$ и D_{EST} , «группа С» – статистики G_{DN} и uG_{DN} . Возникают, естественно, вопросы: (а) в какой степени оценки, рассчитанные разными методами, соотносятся по величине и (б) какая статистика обеспечивает получение адекватных оценок текущей генетической дифференциации популяций?

Цель исследований – сравнительный анализ восьми методов оценки генетической дифференциации популяций по STR-маркерам.

Материал и методы. Были использованы данные по быкам-производителям, представленные в открытом доступе на сайте ВНИИплем¹. Файл включал 140 быков с различным количеством идентификационных данных и числом STR-локусов (до 18). После фильтрации (наличие породы, страны происхождения, одинакового набора локусов) были отобраны 84 быка, каждый с 11-ю локусами, именно: 10 быков айрширской породы (AYR), 10 быков джерсейской породы (JER), 10 – красной датской (RDAT), 9 – красной шведской (RSH), 45 – голштинской породы, из них 13 быков из Германии (H-DEU), 17 – из Нидерландов (H-NLD), 15 – из США (H-USA).

Для характеристики STR-разнообразия породных выборок рассчитывали среднее число аллелей на локус (N_a), число эффективных аллелей на локус (N_e), наблюдаемую (H_o) и ожидаемую (H_e) гетерозиготности, индекс Шеннона (I) и индекс фиксации (F). Сравнимые методы оценки генетической дифференциации популяций представлены в таблице 1.

В основе F_{ST} и G_{ST} -подобных мер – аддитивное разложение общей ожидаемой гетерозиготности на внутри- и межвыборочный компоненты. Высокий полиморфизм STR-маркеров сужает диапазон оценок, получаемых методами группы А. Этот недостаток устраняют методы группы В: $G'_{ST(NEI)}$ и $G''_{ST(NEI)}$ – это оценки G_{ST} и $G_{ST(NEI)}$, стандартизированные на их максимально возможные значения ($G_{ST(max)}$).

D_{EST} – альтернативная мера; в её основе мультипликативное разложение общей вариации эффективного числа аллелей на внутри- и межвыборочный компоненты. Считается, что повышенный полиморфизм STR-маркеров не влияет на значения D_{EST} -оценок. Методы групп А и В обеспечили получение сводных оценок дифференциации по всем породным выборкам (по L. Jost [12] методы группы А количественно определяют близость аллели к фиксации, D_{EST} – относительную степень аллельной дифференциации, а $G'_{ST(NEI)}$ и $G''_{ST(NEI)}$ – попытка сделать методы группы А «настоящими» мерами типа D_{EST}). Они также использовались, наравне с методами группы С, для оценки попарных генетических дистанций. Расчёты проводили по программе GenAlEx 6.502 [26, 27, 28].

¹База генетических данных быков-производителей/ Микросателлиты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vniiplem.ru/rus/files/Database/DNK/mikrosatellity.pdf> (дата обращения: 09.12.2018).

Таблица 1 – Группы мер генетической дифференциации пород /
Table 1 – Groups of measures of genetic differentiation of breeds

Группа / Group	Статистика / Statistics	Диапазон / Range	Источник / Source
A	$F_{ST} = (H_T - H_S) / H_T$	0...(1 - H _S)	M. Nei, 1972 [6]
	$G_{ST} = 1 - cH_S / cH_T$	0...(1 - H _S)	M. Nei, R. K. Chesser, 1983 [8]
	$G_{ST(NEI)} = \frac{k(cH_T - cH_S)}{kcH_T - cH_S}$	0...(1 - H _S)	M. Nei, 1986 [9]
B	$G'_{ST(HED)} = \frac{G_{ST}(k-1+cH_S)}{(k-1)(1-cH_S)}$	0...1	P. W. Hedrick, 2005 [11]
	$G''_{ST(HED)} = \frac{G_{ST(NEI)}}{(1-cH_S)}$	0...1	P. W. Hedrick, 2005 [11]
	$D_{EST} = \left(\frac{k}{(k-1)} \right) \left(\frac{cH_T - cH_S}{(1-cH_S)} \right)$	0...1	L. Jost, 2008 [12]
C	$GDN = -\ln \left(\frac{J_{XY}}{\sqrt{J_X J_Y}} \right)$	0...∞	M. Nei, 1972, 1978 [6, 13]
	$uGDN = -\ln \left(\frac{J_{XY}}{\sqrt{cJ_X cJ_Y}} \right)$	0...∞	M. Nei, 1972, 1978 [6, 13]

Примечания: H_S и H_T – ожидаемые гетерозиготности в пределах выборок и в целом по объединённой выборке; cH_S и cH_T – скорректированные H_S и H_T; k – число выборок; J_X, J_Y, J_{XY} – вероятности идентичности аллелей в выборках X, Y и XY соответственно; cJ_X, cJ_Y – скорректированные на размеры выборок J_X, J_Y; ln – натуральный логарифм /

Notes: H_S and H_T – expected heterozygosity within sample and the heterozygosity of the combined sample; cH_S and cH_T – adjusted H_S and H_T; k – number of samples; J_X, J_Y, J_{XY} – probabilities of identity of alleles in samples X, Y and XY, respectively; cJ_X, cJ_Y – adjusted for sample sizes J_X, J_Y; ln – natural logarithm.

Результаты и их обсуждение. Описательная статистика STR-разнообразия породных выборок представлена в таблице 2. Среднее число аллелей на локус варьировало от 3,5 до 6,2, число эффективных аллелей – от 2,4

до 4,3. Это в среднем на треть меньше фактического, что указывало на наличие достаточно большого числа низкочастотных аллелей. Самые низкие показатели получены по JER-выборке, самые высокие – по H-NLD-выборке.

Таблица 2 – Показатели STR-разнообразия породных выборок /
Table 2 – Indicators of STR-diversity of breed samples

Выборка / Sample	n_i	N_a	N_e	I	H_o	H_e	F
AYR	10	5,1	3,3	1,33	0,69	0,67	-0,04
JER	10	3,5	2,4	0,95	0,56	0,53	-0,09
RDAT	10	5,4	3,2	1,32	0,76	0,66	-0,15
RSH	9	4,8	3,4	1,30	0,76	0,65	-0,15
H-DEU	13	5,6	3,9	1,44	0,74	0,71	-0,04
H-NLD	17	6,2	4,3	1,56	0,97	0,75	-0,30
H-USA	15	4,7	3,2	1,23	0,70	0,64	-0,07

Примечания: n_i – размер выборки; N_a и N_e – число аллелей и эффективных аллелей на локус; I – индекс Шеннона; H_o и H_e – наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготности; F – индекс фиксации /

Notes: n_i – sample size; N_a, N_e – number of alleles and number of effective alleles per locus; I – Shannon index; H_o, H_e – observed and expected heterozygosity; F – fixation index.

Индекс Шеннона (I) варьировал от 0,95 (JER) до 1,55 (H-NLD). Вообще, оценки I имеют диапазон от 0 до некоторого максимального значения – $I_{\max}$. Величина I, близкая к нулю, говорит о небольшом разнообразии и концентрации наблюдений выборки в 1-2 аллелях. Высокие значения I свидетельствуют о наличии значительного аллельного разнообразия и слабой концентрации наблюдений, что указывает на возрастание энтропии (неоднородности) структуры анализируемой выборки. Величина $I_{\max}$ не является строго определённой. Поэтому интерпретировать индекс относительно «количества разнообразия» сложно. Можно только полагать, что «неоднородности» в H-NLD-выборке больше, чем в JER (Галинская и др. [1] отмечали: «...значения индекса Шеннона для микросателлитных маркеров считаются высокими, если они не менее 1,5»).

Распространённое мнение, что гетерозиготность является наиболее естественной мерой уровня генетического разнообразия. В JER-выборке наблюдаемая гетерозиготность (H_o) была наименьшей – 56%, самая большая, 97%, в H-NLD-выборке. В остальных пяти выборках H_o была на уровне 70-75%.

Наблюдаемая гетерозиготность подвержена математическому давлению системы спаривания ($H_o = H_e (1 - F)$, где F – индекс фиксации или коэффициент инбридинга). На ожидаемую гетерозиготность (H_e) такого давления нет – она есть функция только частот аллелей (p_i) в пуле генов выборки ($H_e = 1 - \sum p_i^2$). Независимо от системы спаривания, уровень H_e будет одним. Поэтому H_e более отвечает цели корректного сравнения выборок по уровню генетического разнообразия.

Изолированное разведение животных приводит к повышению гомозиготности, а миграция (поток генов) и скрещивание (межпородное, межлинейное) наоборот – к повышению гетерозиготности животных. При средней $H_e = 0,66$, низкая частота H_e в JER-выборке (0,53) указывает на большую «закрытость» породы, которую она представляет (табл. 2). С другой стороны, высокая частота H_e в выборках H-DEU (0,71) и H-NLD (0,75) свидетельствует о большей открытости этих популяций для «лучшего мирового генофонда» и, возможно, о проводимых дисассортативных спариваниях (отрицательно ассортативных (неслучайных), когда образуются пары, которые характеризуются дополнительно признаками). В выборках RDAT, RSH и H-NLD имел место избыток гетерозигот.

Результаты по гетерозиготности хорошо согласуются с данными литературы. Так, в работе [29] обобщены 145 оценок H_e по STR-маркерам, которые варьировали от 0,40 до 0,91, средняя – 0,66. По пяти выборкам джерсейской породы H_e была 0,57, в голштинской породе США по трём выборкам – 0,64, в айрширской породе по двум выборкам – 0,68, в красной датской – 0,57, в красной шведской – 0,60.

Сводные оценки генетической дифференциации. Все три оценки, рассчитанные методами группы А (табл. 3), были статистически значимые ($p_{perm} \leq 0,001$), но их 95%ДИ перекрывались. Следовательно, различия между оценками можно считать статистически незначимыми. Это можно объяснить достаточно хорошей выравненностью численности выборок. Усреднённая оценка была на уровне 12% с 95%ДИ 8...16%. Отметим, в пределах этого доверительного интервала были оценки генетической дифференциации девяти локальных пород России: при анализе молекулярной вариации (AMOVA) по 11 микросателлитным локусам – 11% [15], при оценке F_{ST} по 35874 SNP-маркерам – 9,8% [16].

Значения статистик группы А не могут быть выше уровня усреднённой по выборкам STR-гомозиготности ($1 - cH_s$) [11]. Чтобы обойти это ограничение диапазона оценок, Р. W. Hedrick предложил относить G_{ST} к максимально возможному значению, $G_{ST(max)}$. Стандартизованная оценка, $G'_{ST(HED)}$, составила $36,4 \pm 2,9\%$ при $p_{perm} \leq 0,001$ с 95%ДИ 31,0...41,5%. Подобное преобразование было применено и к оценке $G_{ST(NEI)}$, которая после стандартизации составила $G''_{ST(HED)} = 37,5 \pm 2,9\%$ при $p_{perm} \leq 0,001$ с 95%ДИ 32,4...42,6%. Различие $G'_{ST(HED)}$ и $G''_{ST(HED)}$ оценок было небольшим и статистически незначимое. Усреднённая оценка была на уровне 37%, что в три раза больше, чем до стандартизации ($\approx 12\%$). 95%ДИ между нестандартизованными и стандартизованными оценками не перекрывались, следовательно, различия можно считать статистически значимыми.

Выборочная оценка «истинной аллельной дифференциации», D_{EST} , составила $29,2 \pm 2,6\%$ при $p_{perm} \leq 0,001$ с 95%ДИ 24,4...33,9%. Она была на 28% ниже стандартизованных оценок, но 95%ДИ перекрывались. Следовательно, нет оснований для отвержения нулевой гипотезы – методы группы В давали сходные сводные оценки генетической дифференциации породных выборок.

Таблица 3 – Уровень STR-дифференциации породных выборок /
Table 3 – Level of STR-differentiation of breed samples

Показатель / Indicator	Метод / Method					
	группа А / group A			группа В / group B		
	F_{ST}	G_{ST}	$G_{ST(NEI)}$	$G'_{ST(HED)}$	$G''_{ST(HED)}$	D_{EST}
Оценка / Est.	0,134	0,103	0,118	0,364	0,375	0,292
Ошибка / S.E.	0,013	0,014	0,015	0,029	0,029	0,026
95% CIL	0,111	0,080	0,093	0,310	0,324	0,244
95% CIU	0,159	0,130	0,148	0,415	0,426	0,339
p_{perm}	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Est. / Fst.	1,0	0,8	0,9	2,7	2,8	2,2

Примечания: 95%CI (95%ДИ) – 95% доверительный интервал (L – нижняя граница, U – верхняя граница; рассчитывался bootstrap-методом); p_{perm} – достигнутый перестановочный уровень статистической значимости (jackknife- и bootstrap-оценки, permutation test рассчитан по 999 перестановкам/репликам); Est. – оценка; S.E. – стандартная ошибка /

Notes: 95%CI (95%ДИ) – 95% confidence interval (L – lower limit, U – upper limit; calculated by bootstrap method); p_{perm} – achieved permutation level of statistical significance (jackknife- and bootstrap-estimates, permutation test calculated by 999 permutations/replicas); Est. – estimate; S.E. – standard error.

Для проверки влияния внутривыборочной гетерозиготности (sH_s) на оценки статистик группы А допустили, что имеющиеся данные состоят из 11 псевдонаборов, каждый с разным локусом. По каждому псевдонабору были рассчитаны sH_s и сводные оценки. Корреляции sH_s с F_{ST} , G_{ST} и $G_{ST(NEI)}$ оценками составили (все три) -0,82 при $p_{value} \leq 0,002$, с $G'_{ST(HED)}$ и $G''_{ST(HED)}$ – -0,34 и -0,37 при $p_{value} \geq 0,259$, а с D_{EST} – -0,01 при $p_{value} = 0,979$. Корреляционный анализ подтвердил негативную статистически значимую зависимость оценок генетической дифференциации методами группы А от sH_s и отсутствие таковой при использовании методов группы В.

95%ДИ оценок методами групп А и В не перекрывались. Следовательно, можно полагать, что методы группы А статистически значимо (почти в 3 раза) занижали степень генетической дифференциации породных выборок. Это противоречит мнению, что любую статистику (F_{ST} , G_{ST} , D_{EST}), в контексте STR-дифференциации, «использовать правомерно» [1].

Наши результаты согласуются с теоретическими расчётами [11, 12]. Как косвенное подтверждение можно привести результаты сравнительного исследования информативности STR- и SNP-маркеров для внутривидовой и межвидовой дифференциации рода *Ovis* [30]. Оценки F_{ST} , рассчитанные по STR-маркерам, были в диапазоне 2,8-11,5% (усреднённая 8,4%), по SNP-маркерам – 15,0-53,7% (39,6%). Считается, что при использовании SNP-маркеров нет необходимости в коррекции F_{ST} -оценок на уровень sH_s . Если допустить, как предполагают авторы, «...потенциальное преиму-

щество SNP-маркеров в выявлении генетических различий между видами, экотипами и другими мелкими таксономическими единицами» [30; с. 93], то F_{ST} -оценки по STR-маркерам были ниже (занижены) почти в 5 раз! Наряду с этим следует отметить, что оценки Но по SNP-маркерам были примерно в два раза ниже, чем по STR-маркерам (28-43% против 73-78%). Возникает вопрос, именно: отражали ли оценки Но по SNP-маркерам подлинное внутривидовое генетическое разнообразие рода *Ovis*?

Райт [цит. по 31] для F_{ST} -оценок предложил классификацию, которая, как представляется, применима и к иным мерам:

Величина F_{ST}	Генетическая дифференциация популяций
$\leq 0,05$	- незначительная (little);
0,06-0,15	- умеренная (moderate);
0,16-0,25	- большая (great);
$> 0,25$	- очень большая (very great).

По оценкам, полученным методами группы А, генетическую дифференциацию породных выборок можно классифицировать как «умеренная». С другой стороны, по оценкам методами группы В – «очень большая». При подобных противоречивых заключениях решения по разведению/сохранению популяций могут существенно различаться и даже быть противоположными. Это указывает на важность правильного выбора метода для оценки генетической дифференциации пород, линий, стад.

Из-за чувствительности F_{ST} -, G_{ST} - и $G_{ST(NEI)}$ -статистик к уровню sH_s их оценки могут приближаться к нулю, даже при отсутствии

в субпопуляциях общих аллелей [12]. Поэтому для получения адекватных оценок *текущей* генетической дифференциации популяций представляется целесообразным использовать D_{EST} -статистику L. Jost, расчёт которой базируется на числе эффективных аллелей и оценка не зависит от уровня sH_s . Стандартизированные оценки по P. W. Hedrick ($G'_{ST(HEU)}$ и $G''_{ST(HEU)}$) более корректны, чем оценки методами группы А (F_{ST} , G_{ST} и $G_{ST(NEI)}$), т. к. при высоких значениях sH_s приближаются к таковым по D_{EST} ($r = 0,93$; $p_{value} < 0,0001$). Считается, что $G'_{ST(HEU)}$

и $G''_{ST(HEU)}$ статистики могут быть полезны при сравнении генетической дифференциации популяций разных видов, с разными эффективными размерами, при использовании генетических маркеров, отличающихся по темпам мутирования, как STR и SNP [32].

Генетические дистанции между выборками. Сводные оценки характеризовали усреднённую дифференциацию, нивелируя генетические отношения между каждой парой породных выборок. Для выяснения последних были рассчитаны генетические дистанции (**GD**; табл. 4).

Таблица 4 – Треугольные матрицы парных генетических дистанций /
 Table 4 – Triangular matrices of paired genetic distances

Выборка / Sample	AYR	JER	RDAT	RSH	H-DEU	H-NLD	H-USA
F_{ST}-дистанции / F_{ST}-distances							
AYR	-	0,0001	0,4022	0,2628	0,0001	0,0001	0,0001
JER	0,147	-	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RDAT	0,025	0,166	-	0,3028	0,0001	0,0001	0,0001
RSH	0,030	0,183	0,027	-	0,0003	0,0001	0,0001
H-DEU	0,082	0,124	0,086	0,087	-	0,0935	0,2355
H-NLD	0,064	0,109	0,070	0,073	0,019	-	0,0003
H-USA	0,086	0,143	0,085	0,085	0,021	0,029	-
G_{ST(NEI)}-дистанции / G_{ST(NEI)}-distances							
AYR	-	0,0001	0,4022	0,2601	0,0001	0,0001	0,0001
JER	0,217	-	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RDAT	0,001	0,250	-	0,3028	0,0001	0,0001	0,0001
RSH	0,008	0,274	0,005	-	0,0003	0,0001	0,0001
H-DEU	0,113	0,185	0,121	0,120	-	0,1057	0,2369
H-NLD	0,089	0,168	0,101	0,106	0,008	-	0,0003
H-USA	0,123	0,219	0,123	0,121	0,006	0,031	-
G''_{ST(HEU)}-дистанции / G''_{ST(HEU)}-distances							
AYR	-	0,0001	0,4034	0,2599	0,0001	0,0001	0,0001
JER	0,590	-	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RDAT	0,005	0,663	-	0,3028	0,0001	0,0001	0,0001
RSH	0,026	0,728	0,017	-	0,0003	0,0001	0,0001
H-DEU	0,401	0,524	0,417	0,416	-	0,1072	0,2362
H-NLD	0,335	0,501	0,371	0,388	0,032	-	0,0001
H-USA	0,387	0,565	0,377	0,372	0,019	0,107	-
D_{EST}-дистанции / D_{EST}-distances							
AYR	-	0,0001	0,4034	0,2599	0,0001	0,0001	0,0001
JER	0,477	-	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RDAT	0,003	0,551	-	0,3028	0,0001	0,0001	0,0001
RSH	0,019	0,626	0,012	-	0,0003	0,0001	0,0001
H-DEU	0,325	0,417	0,337	0,336	-	0,1081	0,2356
H-NLD	0,270	0,401	0,300	0,316	0,024	-	0,0003
H-USA	0,302	0,443	0,289	0,285	0,014	0,079	-

Примечания: под диагональю оценки, над диагональю p_{perm} – достигнутый уровень статистической значимости ($\alpha_{Bonf} = 0,05/21 = 0,0024$) / Notes: under the evaluation diagonal, above the p_{perm} diagonal - the reached level of statistical significance ($\alpha_{Bonf} = 0,05/21 = 0,0024$).

С вероятностью ошибки $\alpha_{\text{Bonff}} = 0,0024$ (множественный тест Бонферрони) из 21 парных сравнений 16 оценок GD были статистически значимыми. GD между породными выборками AYR с RDAT, AYR с RSH, RDAT с RSH и H-DEU с двумя другими голштинскими выборками были статистически незначимыми по всем мерам. Возможной причиной подобия генофондов быков красных пород могло быть наличие достаточно интенсивного обмена генетическим материалом; между голштинскими выборками – интродукция генов голштинской породы Северной Америки.

Похожие результаты приводил A. V. Dotsev с коллегами²: оценки SNP/ F_{ST} -дистанций между выборкой голштинских быков из Германии ($n_i = 5$) и таковыми из Нидерландов (4), Дании (3) и Канады (4) были, можно сказать, нулевыми: -0,01, 0,006 и -0,001 соответственно.

GD по F_{ST} -статистике были в диапазоне от 0,019 до 0,183 (усреднённая 0,083), по $G_{ST(\text{NEI})}$ – от 0,001 до 0,274 (0,114), по $G''_{ST(\text{HED})}$ – от 0,005 до 0,728 (0,345), по D_{EST} – от 0,003 до 0,626 (0,277). Если за

«истинную дифференциацию» взять сводную D_{EST} -оценку (табл. 3), то F_{ST} -мера занижала оценки генетических дистанций в среднем на $(1 - 0,134/0,292)100 = 54\%$, $G_{ST(\text{NEI})}$ -мера – на 60%, т. е. более чем в 2 раза!

Отметим, STR/ F_{ST} -дистанции между девятью локальными российскими породами скота были в диапазоне 0,022-0,106 [15], между региональными популяциями холмогорской породы – 0,016-0,041 [19], между стадами романовских овец – 0,038-0,059 [21], дифференциация линий в чистокровной верховой породе лошадей была на уровне 0,056 [22], популяций дальневосточных пчёл – 0,049-0,149 [30]. Если исходить из полученных нами результатов, то можно полагать, что эти оценки также являются значительно заниженными.

Стандартные GD Nei (табл. 5) варьировали от 0,086 до 1,052 (усреднённая 0,435), несмещённые оценки GD – от 0,000 до 0,962 (усреднённая 0,341), т. е. в среднем на 22% ниже. Отметим, оценки GD Nei несравнимы с таковыми таблицы 4, т. к. являются продуктом логарифмирования с диапазоном от 0 до ∞ .

Таблица 5 – Матрицы генетических дистанций Nei (GDN и uGDN) /
Table 5 – Nei genetic distance matrices (GDN and uGDN)

Выборка / Sample	AYR	JER	RDAT	RSH	H-DEU	H-NLD	H-USA
AYR	-	0,629	0,000	0,013	0,392	0,293	0,354
JER	0,716	-	0,781	0,962	0,509	0,448	0,576
RDAT	0,107	0,865	-	0,000	0,402	0,325	0,333
RSH	0,128	1,052	0,111	-	0,401	0,347	0,327
H-DEU	0,499	0,591	0,505	0,510	-	0,007	0,004
H-NLD	0,397	0,527	0,425	0,454	0,106	-	0,050
H-USA	0,442	0,639	0,418	0,417	0,086	0,130	-

Примечания: под диагональю GDN – стандартные оценки; над диагональю uGDN – несмещённые оценки. Между AYR и RDAT оценка uGDN = -0,002; по рекомендации Nei она приравнена к нулю. $R_M = 0,999$ /

Notes: below the GDN diagonal are standard estimates; above the uGDN diagonal are unbiased estimates. Between AYR and RDAT, the estimate uGDN = -0.002; according to Nei recommendation, it is equated to zero. $R_M = 0.999$.

Степень соответствия (correspondence) матриц GD была определена корреляцией Мантеля (R_M) с рандомизированной перму-

тационной (random permutation) проверкой статистической значимости. R_M составили:

Матрица	F_{ST}	G_{ST}	$G_{ST(\text{NEI})}$	$G'_{ST(\text{HED})}$	$G''_{ST(\text{HED})}$	uGDN
G_{EST}	0,970	0,976	0,983	1,000	0,998	0,986
uGDN	0,985	0,985	0,984	0,982	0,977	1,000.

²Dotsev A. V., Sermyagin A. A., Shakhin A. V., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N. A. Breed purity of Holstein bulls born in Russia and imported from different countries. ASAS-CSAS Annual Meeting and Trade Show. 2018 Vancouver, Canada [poster]. [Электронный ресурс].

URL: https://www.vij.ru/images/conf-18/05-12jul_Vankuver/Dotsev.ArsenV_3.pdf (дата обращения: 26.12.2018).

Все R_M были очень высокие и статистически значимые ($p_{perm} \leq 0,02$). R_M есть мера линейной зависимости. Квадрат R_M (R_M^2) – это коэффициент детерминации, который представляет долю вариации, общую для двух матриц, или степень связанности элементов матриц. Диапазон R_M^2 был 0,941-0,998, т. е. неучтённая вариация составляла 0,2-5,9%. Несмотря на значительные различия в оценках парных дистанций, полученных разными методами, степень соответствия матриц GD была очень высокой.

Анализ главных координат. Даже такая небольшая матрица, как 4×4 , достаточно сложна для восприятия и интерпретации. Матрицы больших размеров анализировать практически невозможно. Поэтому в популяционно-генетических исследованиях используют методы многомерной статистики (факторный анализ, кластерный анализ и др.) для представления матриц GD в наглядном, доступном для интерпретации, графическом виде. Нами для визуализации генетических отношений между породными выборками быков (табл. 4 и 5), использован «анализ главных координат» (Principal Coordinate Analysis, PCoA). Концептуально PCoA аналогичен «анализу главных компонент» (Principal Components Analysis, PCA); часто PCoA отождествляют с «метрическим многомерным шкалированием» (metric Multi-Dimensional Scaling, mMDS).

PCoA – это процедура, которая каждому элементу матрицы дистанций между n объектами (выборками) назначает местоположение в теоретическом пространстве небольшой размерности в виде конфигурации из n точек, минимизируя при этом потери информации. Другими словами, PCoA проецирует информацию матрицы дистанций между объектами в достаточно адекватный 2D (или 3D) график ординации (взаимном расположении точек при $\min$ возможном искажении расстояния между ними).

Процедура PCoA создает в теоретическом пространстве с помощью дискриминантных (разделяющих) функций набор некоррелированных (ортогональных) осей (шкал) координат для обобщения разброса (дисперсии) между объектами в матрице дистанций. Каждая ось имеет собственное значение (eigenvalue), величина которого указывает размер дисперсии, зафиксированной на этой оси. Отношение данного собственного значения к сумме всех собственных значений пока-

зывает относительную «важность» каждой оси (используется как мера вклада объектов в заданную ось PCoA). PCoA считается успешным, если первые 2-3 оси «улавливают» не менее 80% общей дисперсии в матрице дистанций (60% считается минимально приемлемым уровнем). Вклад остальных осей оказывается на уровне погрешности анализа (при равномерном распределении вкладов по осям PCoA считается неудачным).

В PCoA все выборки имеют «оценки» (score) вдоль каждой оси. Оценки выборки представляют её координаты на графике ординации. Чем ближе точки-выборки на графике, тем больше общего в составе их аллелофонов. Если две точки-выборки на графике далеки друг от друга, то между соответствующими выборками имеет место значительная дифференциация. Отдалённость определяется значениями элементов матрицы GD, используемой в качестве входных данных.

На рисунке представлены результаты PCoA, основанного на F_{ST} -, $G''_{ST(HED)}$ -, D_{EST} - и $uGDN$ -матрицах GD. Первая главная координата (Coor.1) объясняла от 66 до 80% межвыборочной дисперсии в структуре данных. При этом по «классическим» мерам (F_{ST} и $uGDN$) дисперсия были выше (74 и 80%), чем по «новым» ($G''_{ST(HED)}$ и D_{EST} – 66 и 69%). На вторую главную координату (Coor.2) приходилось соответственно 23 и 19, 32 и 30% STR-дисперсии между выборками. Суммарно две главные координаты «улавливали» в F_{ST} -, $G''_{ST(HED)}$ -, D_{EST} - и $uGDN$ -матрицах GD 96,8, 97,0, 97,8 и 99,1% STR-изменчивости между выборками. При существенно отличающихся парных оценках F_{ST} -, $G''_{ST(HED)}$ -, D_{EST} - и $uGDN$ -статистик (табл. 4 и 5) их PCoA-информативность была почти равной (различия не более 2,3 процентных пункта) и высокой.

Первая главная координата отделила JER-выборку от остальных (можно сказать, «островной» генофонд от «материкового»). Вторая главная координата отделила голштинские выборки от выборок быков других пород («американский» генофонд от «европейского»). В данном случае смысл (интерпретация) каждой из осей не имеет значения; главным является взаимное расположение выборок. В целом, все четыре 2D-графика демонстрировали группировку выборок и степень их дифференциации на три кластера – «островков дивергенции». Внутри кластеров выборки характеризовались большим генетическим подобием, между кластерами – большим несходством.

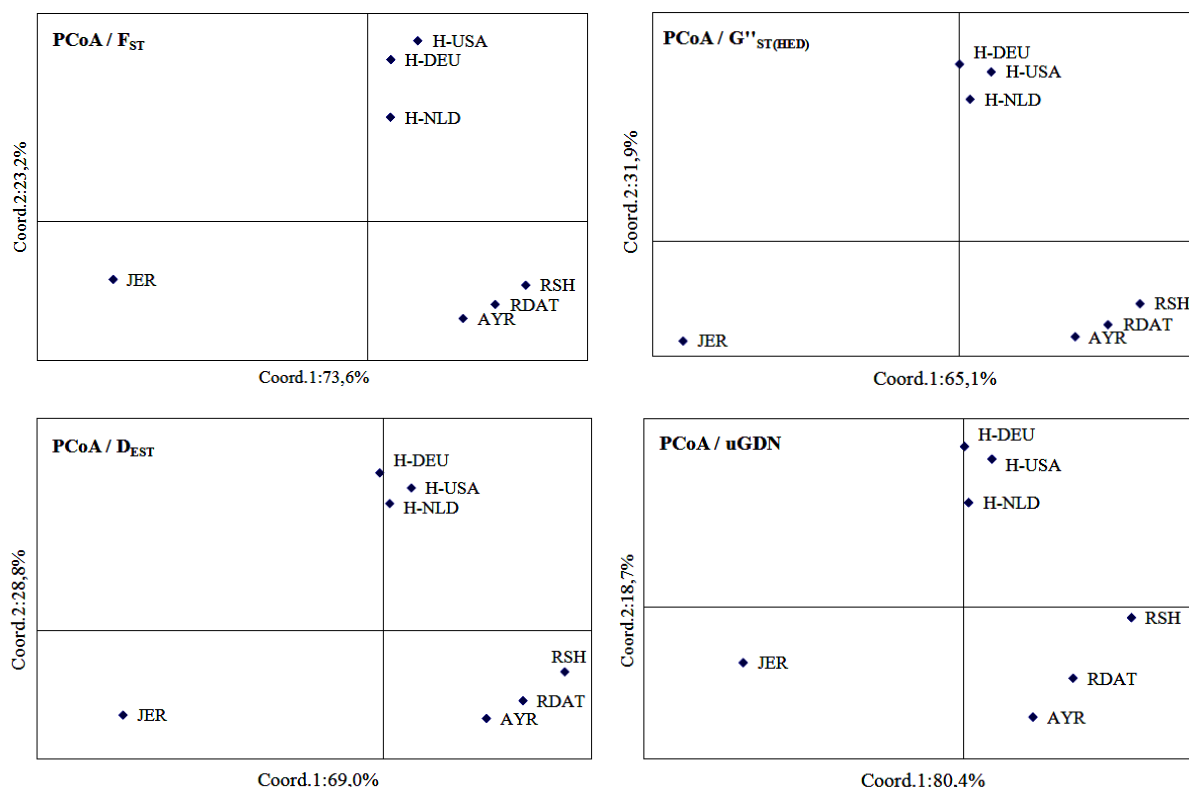


Рис. Проекция выборок быков на плоскости 1 и 2 главных координат с F_{ST} -, $G''_{ST(RED)}$ -, D_{EST} - и $uGDN$ -матриц генетических дистанций. На осях даны проценты объяснённой дисперсии (числа показывают, какая доля общего разброса точек приходится на каждую из координат) /

Fig. Projection of bull samples on plane 1 and 2 of the main coordinates with F_{ST} -, $G''_{ST(RED)}$ -, D_{EST} - and $uGDN$ -matrices of genetic distances. On the axes, the percentages of the explained variance are given (the numbers show how much of the total scatter of points falls on each of the coordinates).

На всех графиках ординация породных выборок была очень схожей. Первый кластер объединил голштинские выборки быков (H-DEU, H-NLD, H-USA), что вполне ожидаемо. На значительном расстоянии от первого кластера расположен второй – выборки быков трёх «красных» пород (AYR, RDAT, RSH), что также представляется логичным. В частности, в 2010 г. Финляндия, Дания, Швеция объединили айрширскую, красную датскую, шведскую красно-пёструю породы и улучшают по единой программе селекции VikingRed международной компании Viking Genetics (детали истории слияния пород даны в [33]). Обособлено, на достаточно большом и примерно равном расстоянии от первых двух кластеров, расположилась выборка быков джерсейской породы (JER), образуя, тем самым, третий кластер.

JER-выборку характеризовали повышенные GD с остальными породными выборками (табл. 4). Самыми высокими были оценки по $G''_{ST(RED)}$ -мере, которые указывали на то, что дифференциация JER-выборки с остальными составляла от 50 до 73% от максимально

возможной при учёте фактической внутривыборочной гетерозиготности (cH_s).

Усреднённые GD JER-выборки с остальными выборками были: по F_{ST} -матрице – 0,145, $G''_{ST(RED)}$ – 0,595, D_{EST} – 0,486, по $uGDN$ – 0,651. Это достаточно большие значения. Например, усреднённые GD AYR-выборки с остальными были в 2 и более раз ниже соответственно 0,072, 0,291, 0,233 и 0,280; объединённой выборки голштинских быков – 0,080, 0,385, 0,307, 0,353 (без JER). Подобная тенденция имела место в работе [16; Add. file 2: tabl. S2], именно: при полногеномном SNP/ F_{ST} -анализе усреднённая GD по девяти локальным российским породам с джерсейской породой составляла 0,156, с айрширской – 0,107, с голштинской – 0,085. Также в работе [34], где усреднённая GD джерсейской породы с 17 породами из разных частей мира по SNP/ F_{ST} -анализу была 0,208, аналогичная оценка по голштинской породы – 0,164.

Родина джерсейской породы – остров Джерзей; произошла от «слияния» нормандского и бретонского скота с участием альдер-

нейского скота [35], по некоторым данным с использованием швицев и зебу [36]. В 1789 году был издан закон, запрещающий импорт племенного скота, и после этого порода поддерживалась в «чистоте» с широким применением инбридинга³. В результате, как представляется, в породе и сформировался генофонд, отличающийся от такового материковых пород скота (проявилось и в пониженном генетическом разнообразии JER-выборки; см. табл. 2).

В общем, несмотря на значительные различия в оценках F_{ST} , $G''_{ST(HEd)}$, D_{EST} и $uGDN$ -статистик (табл. 4 и 5), все четыре 2D-графика имели очень схожие ординации выборок, наглядно демонстрируя секторальную структуру объединённого STR-генофонда быков. Эти результаты дают основание полагать, что для анализа пространственного местоположения популяций правомерно использовать любую меру GD (в этом контексте наше мнение согласуется с таковым в [1]).

Заключение. Вариация числа аллелей на микросателлитный локус (3,5-6,2) и гетерозиготности (56-97%) по породным выборкам свидетельствовала о наличии их дифференциации. Сводные оценки последней методами группы А (F_{ST} , G_{ST} , $G_{ST(NEd)}$) были в диапазоне 10...13% ($p_{perm} \leq 0,001$), методами группы В ($G'_{ST(HEd)}$, $G''_{ST(HEd)}$, D_{EST}) – от 29 до 37% ($p_{perm} \leq 0,001$). Оценки методами группы В статистически значимо превосходили оценки методами группы А почти в 3 раза. Было установлено воздействие повышенной внутривыборочной гетерозиготности на снижение оценок методами группы А ($r = -0,82$ при $p_{value} \leq 0,002$) и отсутствие такового при использовании стандартизации Р. W. Hedrick

($r = -0,34$ и $-0,37$ при $p_{value} \geq 0,259$) и метода L. Jost ($r = -0,01$ при $p_{value} = 0,979$). Этот факт ставит под сомнение адекватность оценок, опубликованных ранее [15, 19, 21, 22, 30], реальной STR-дифференциации пород, линий, стад. Оценки парных генетических дистанций, рассчитанные разными методами, заметно отличались (по F_{ST} -матрице: 0,019-0,183, $G''_{ST(HEd)}$: 0,005-0,728, D_{EST} : 0,003-0,626, $uGDN$: 0,000-0,962). Однако между матрицами имело место высокая степень соответствия ($R_M \geq 0,97$), которая проявилась и в проекциях породных выборок на 2D-графиках PCoA. Это даёт основание считать, что рассматриваемые методы не оказывали существенного влияния на пространственную локализацию выборок и единообразно воспроизводили реальную структуру генофонда объединённой выборки быков. На основании результатов, полученных по имеющимся данным, можно полагать, что для оценки текущей STR-дифференциации популяций целесообразно использовать статистику L. Jost (D_{EST}) как меру «истинной аллельной дифференциации», на которую не влияет уровень внутривыборочной гетерозиготности. Стандартизированные оценки по Р. W. Hedrick ($G'_{ST(HEd)}$ и $G''_{ST(HEd)}$) более корректны, чем оценки по методам группы А (F_{ST} , G_{ST} и $G_{ST(NEd)}$), т. к. при высокой внутривыборочной гетерозиготности приближаются к таковым по D_{EST} -статистике ($r = 0,90$ и $0,88$ при $p_{value} \leq 0,0003$). В то же время для исследования пространственной ординации генофондов популяций, по всей видимости, подходит любая из рассмотренных мер генетической дистанции.

References

1. Галинская Т. В., Щепетов Д. М., Лысенков С. Н. Предубеждения о микросателлитных исследованиях и как им противостоять. Генетика. 2019;55(6):1-16. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016675819060043>
Galinskaya T. V., Shchepetov D. M., Lysenkov S. N. *Predubezhdeniya o mikrosatellitnykh issledovaniyakh i kak im protivostoyat'*. [Prejudices against microsatellite studies and the ways to resist them]. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2019;55(6):1-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016675819060043>
2. Зиновьева Н. А., Сермягин А. А., Доцев А. В., Бороноская О. И., Петрикеева Л. В., Абдельманова А. С., Brem G. Генетические ресурсы животных: развитие исследований аллелофонда российских пород крупного рогатого скота – Миниобзор. Сельскохозяйственная биология. 2019;54(4):631-641. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.4.631rus>
Zinov'eva N. A., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Boronetskaya O. I., Petrikeeva L. V., Abdel'manova A. S., Brem G. *Geneticheskie resursy zhivotnykh: razvitie issledovaniy allelofonda rossiyskikh porod krupnogo rogatogo skota – Miniobzor*. [Animal genetic resources: developing the research of allele pool of Russian cattle breeds. Mini review]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2019;54(4):631-641. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.4.631rus>

³Джерсейская (порода коров). Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Джерсейская_\(порода_коров\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Джерсейская_(порода_коров)) (дата обращения: 12.09.2018).

3. Карафет Т. М., Зегура С. Л., Хаммер М.Ф. Историческое освоение человеком новых территорий: роль древних популяций Азии в заселении Америки. Информационный вестник ВОГиС. 2006;10(1):7-23. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9573134>

Karafet T. M., Zegura S. L., Khammer M. F. *Istoricheskoe osvoenie chelovekom novykh territoriy: rol' drevnikh populyatsiy Azii v zaselenii Ameriki*. [Historical development of new lands by a man: an ancient link between Asia and America]. *Informatsionnyy vestnik VOGiS*. 2006;10(1):7-23. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9573134>

4. Kalinowski S. T. Evolutionary and statistical properties of three genetic distances. *Molec. Ecol.* 2002;11(8):1263-1273. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2002.01520.x>

5. Wright S. The genetical structure of populations. *Annals of Eugenics*. 1951;15(4):323-354. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1949.tb02451.x>

6. Nei M. Genetic distance between populations. *Amer. Natur.* 1972;106(949):283-292. URL: <https://www.jstor.org/stable/2459777>

7. 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>

Kuznetsov V. M. *F-statistiki Rayta: otsenka i interpretatsiya*. [Wright's F-statistics: estimation and interpretation]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh = Problems of Productive Animal Biology*. 2014;4:80-104. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22833217>

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. 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>

10. 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>

11. Hedrick P. W. A standardized genetic differentiation measure. *Evolution*. 2005;59(8):1633-1638. URL: <https://www.jstor.org/stable/3449070>

12. Jost L. G_{ST} and its relatives do not measure differentiation. *Molec. Ecol.* 2008;17(18):4015-4026. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03887.x>

13. 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>

14. Heller R., Siegmund H. R. Relationship between three measures of genetic differentiation G_{ST} , D_{EST} and G'_{ST} : how wrong have we been? *Molec. Ecol.* 2009;18(10):2080-2083.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2009.04185.x>

15. Волкова В. В., Денискова Т. Е., Костюнина О. В., Амерханов Х. А., Добрынина Т. И., Зиновьева Н. А. Характеристика аллелофонда локальных пород крупного рогатого скота России по микросателлитным маркерам. Генетика и разведение животных. 2018;1:3-10. DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-3-10>

Volkova V. V., Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Amerkhanov Kh. A., Dobrynina T. I., Zinov'eva N. A. *Kharakteristika allelofonda lokal'nykh porod krupnogo rogatogo skota Rossii po mikrosatelitnym markeram*. [Characteristic of allele pool of local cattle breeds of Russia based on microsatellite markers]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh = Genetics and breeding animals*. 2018;1:3-10. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-3-10>

16. Semyagin 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., Plemashov K. V., Sölkner J., Popov R. G., Brem G., Zinov'eva 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>

17. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V., Lhasaranov B., Popov R., Paronyan I. A., Plemashov K. V., Larkin D. M. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Heredity*. 2018;120:125-137. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-017-0024-3>

18. Юдин Н. С., Ларкин Д. М. Происхождение, селекция и адаптация российских пород крупного рогатого скота по данным полногеномных исследований. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(5):559-568. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.525>

Yudin N. S., Larkin D. M. *Proiskhozhdenie, selektsiya i adaptatsiya rossiyskikh porod krupnogo rogatogo skota po dannym polnogenomnykh issledovaniy*. [Whole genome studies of origin, selection and adaptation of the Russian cattle breeds]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):559-568. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.525>

19. Волкова В. В., Романенкова О. С., Денискова Т. Е., Мишина А. И., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Характеристика аллелофонда холмогорской породы крупного рогатого скота с использованием STR-маркеров. Молочное и мясное скотоводство. 2019;(7):3-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41852279>

Volkova V. V., Romanenkova O. S., Deniskova T. E., Mishina A. I., Kostyunina O. V., Zinov'eva N. A. *Kharakteristika allelofonda kholmogor-skoy porody krupnogo rogatogo skota s ispol'zovaniem STR-markerov*. [Assessment of the allele pool of the Kholmogory cattle breed using STR-markers]. *Molochnoe i myasnnoe skotovodstvo* = Dairy and Beef Cattle Breeding. 2019;(7):3-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41852279>

20. Deniskova T. E., Dotsev A. V., Selionova M. I., Kunz E., Medugorac I., Reyer H., Wimmers K., Barbato M., Traspov A. A., Brem G., Zinov'eva N. A. Population structure and genetic diversity of 25 Russian sheep breeds based on whole-genome genotyping. *Genet. Sel. Evol.* 2018;50(29).

DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0399-5>

21. Денискова Т. Е., Костюнина О. В., Соловьева А. Д., Зиновьева Н. А. Изучение генетического разнообразия и дифференциации региональных популяций романовских овец по микросателлитным маркерам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;64(3):75-80.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.75-80>

Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Solov'eva A. D., Zinov'eva N. A. *Izuchenie geneticheskogo raznoobraziya i differentsiatsii regional'nykh populyatsiy romanovskikh ovets po mikrosatellitnym markeram*. [Study of genetic diversity and differentiation of regional populations of Romanov sheep using microsatellite markers]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;64(3):75-80. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.75-80>

22. Khrabrova L. A., Blohina N. V., Suleymanov O. I., Rozhdestvenskaya G. A., Pustovoy V. F. Assessment of line differentiation in the Thoroughbred horse breed using DNA microsatellite loci. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):569-574. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.526>

Khrabrova L. A., Blohina N. V., Suleymanov O. I., Rozhdestvenskaya G. A., Pustovoy V. F. Assessment of line differentiation in the Thoroughbred horse breed using DNA microsatellite loci. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(5):569-574. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.526>

23. Харзинова В. Р., Костюнина О. В., Карпушкина Т. В., Быкова О. А., Зиновьева Н. А. Изучение популяционной структуры и генетического разнообразия свиней породы венгерская мангалица на основе анализа микросателлитов. *Аграрный вестник Урала*. 2019;7(186):77-81.

DOI: https://doi.org/10.32417/article_5d52b081b3e348.43320197

Kharzinova V. R., Kostyunina O. V., Karpushkina T. V., Bykova O. A., Zinov'eva N. A. *Izuchenie populyatsionnoy struktury i geneticheskogo raznoobraziya sviney porody vengerskaya mangalitsa na osnove analiza mikrosatellitov*. [The study of the population structure and genetic diversity of Hungarian Mangalica breed of pigs based on microsatellites analysis]. *Agrarnyy vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;7(186):77-81. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/article_5d52b081b3e348.43320197

24. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Deniskova T. E., Solovieva A. D., Fedorov V. I., Layshev K. A., Romanenko T. M., Okhlopov I. M., Wimmers K., Reyer H., Brem G., Zinov'eva N. A. Genetic diversity and population structure of domestic and wild reindeer (*Rangifer tarandus* L. 1758): A novel approach using BovineHD BeadChip. *PLoS ONE*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207944>

25. Форнара М. С., Крамаренко А. С., Шаров М. А., Зиновьева Н. А. Исследование аллелофонда и генетической дифференциации дальневосточных пчел. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(10):101-104. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27175140>

Fornara M. S., Kramarenko A. S., Sharov M. A., Zinov'eva N. A. *Issledovanie allelofonda i geneticheskoy differentsiatsii dal'nevostochnykh pchel*. [Study of allele pool and genetic differentiation of the Far-Eastern honey bees]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(10):101-104. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27175140>

26. Peakall R., Smouse P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molec. Ecol.* 2006;6(1):288-295. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>

27. 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

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

29. Кузнецов В. М. Снижает ли кроссбридинг генетическое разнообразие? или Разведение и сохранение пород молочного скота в России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2017. 104 с.

Режим доступа: http://vm-kuznetsov.ru/files/book/Pap2017_he.pdf

Kuznetsov V. M. *Snizhaet li krossbridging geneticheskoe raznoobrazie? ili Razvedenie i sokhranenie porod molochnogo skota v Rossii*. [Whether crossbreeding reduces genetic diversity or Breeding and preservation of dairy cattle breeds in Russia]. Киров: *NIISKH Severo-Vostoka*, 2017. 104 p.

URL: http://vm-kuznetsov.ru/files/book/Pap2017_he.pdf

30. Денискова Т. Е., Сермягин А. А., Багиров В. А., Охлопков И. М., Гладырь Е. А., Иванов Р. В., Брем Г., Зиновьева Н. А. Сравнительное исследование информативности STR и SNP маркеров для внутривидовой и межвидовой дифференциации рода *Ovis*. Генетика. 2016;52(1): 90-96. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675816010021>

Deniskova T. E., Sermyagin A. A., Bagirov V. A., Okhlopov I. M., Gladyr' E. A., Ivanov R. V., Brem G., Zinov'eva N. A. *Sravnitel'noe issledovanie informativnosti STR i SNP markerov dlya vnutrividovoy i mezvidovoy differentsiatsii roda Ovis*. [Comparative analysis of the effectiveness of STR and SNP markers for intraspecific and interspecific differentiation of the genus *Ovis*]. *Genetika = Russian Journal of Genetics*. 2016;52(1): 90-96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675816010021>

31. Hartl D. L., Clark A. G. Principles of Population Genetics. Third Edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 1997. 542 p. URL: <https://archive.org/details/B-001-001-062/page/n13>

32. 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>

33. Кузнецов А. В., Тулинова О. В. Характеристика породных компонент айрширского стада ПАО «ПЗ им. В.И. Чапаева» Краснодарского края. Генетика и разведение животных. 2019;2:24-29. DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-2-24-29>

Kuznetsov A. V., Tulina O. V. *Kharakteristika porodnykh komponent ayrshirskogo stada PAO «PZ im. V. I. Chapaeva» Krasnodarskogo kraia*. [Characteristics of breed component of Ayrshire herd of PC «BP of V. I. Chapaeva» Krasnodar territory]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2019;2:24-29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-2-24-29>

34. Gautier M., Laloë D., Moazami-Goudarzi K. Insights into the Genetic History of French Cattle from Dense SNP Data on 47 Worldwide Breeds. *PLoS ONE*. 2010;5(9): e13038. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013038>

35. Плёмб Ч. Типы и породы сельскохозяйственных животных. С.-Петербург, 1913. 560 с.

Plemb Ch. *Tipy i porody sel'skokhozyaystvennykh" zhivotnykh"*. [Types and breeds of farm animals]. S.-Peterburg", 1913. 560 p.

36. Ружевский А. Б., Рубан Ю. Д., Бердник П. П. Породы крупного рогатого скота. М.: «Колос»; 1980. 246 с.

Ruzhevskiy A. B., Ruban Yu. D., Berdnik P. P. *Porody krupnogo rogatogo skota*. [Breeds of cattle]. Moscow: «Kolos», 1980. 246 p.

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

✉ Vasiliy 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

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.183-198>

УДК 621.313.333



Обоснование алгоритма управления регулируемым электроприводом вальцовых плющилок-измельчителей фуражного зерна

© 2020. М. А. Прищепов[✉], В. А. Дайнеко, Е. М. Прищепова

УО «Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

В последние годы наряду с традиционной технологией сухого хранения зерна и измельчения перед скармливанием широко используется технология консервирования плющеного зерна ранней стадии спелости. Названные технологии не заменяют друг друга, а объективно дополняют, то есть существуют параллельно и требуют соответствующего оборудования для их реализации. Для этого необходимо использовать универсальное энергоэффективное оборудование для плющения фуражного зерна с высокой годовой загрузкой. В качестве такого оборудования целесообразно использовать вальцовые плющилки-измельчители с индивидуальным электроприводом вальцов. На процесс плющения и измельчения зерна оказывают существенное влияние физико-механические свойства зерна и конструктивно-технологические параметры вальцовых плющилок-измельчителей. Анализ прочностных свойств зерна показывает, что для уменьшения энергоемкости процесса плющения зерна его необходимо проводить при более высокой влажности и как можно с более высокой скоростью деформации. При достижении определенной окружной скорости вальцов процесс достигает одновременно максимальной производительности и минимальной энергоемкости. В основу алгоритма управления заложено изменение скорости вальцов ступенчато от меньшей скорости к большей. При этом на каждой ступени производят плющение дозированной порции зерна, находящейся между верхней и нижней заслонками вертикальной загрузочной шахты, и измерение времени, за которое эта порция будет отработана. Эту процедуру проводят, изменяя скорость от меньшей к большей до тех пор, пока не будет определена скорость, при которой плющение порции будет происходить за минимальное время. Если по технологическому процессу требуется режим измельчения зерна, то далее происходит увеличение скорости одного из вальцов уже от оптимальной скорости плющения. Увеличение скорости происходит до тех пор, пока не будет расти ток рекуперации в параллельно соединенных шинах постоянного напряжения преобразователей частоты.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, реологическая связь, энергоемкость, производительность, плющение, измельчение, физико-химические свойства, скорость деформации, оптимальная скорость плющения

Благодарности: работа выполнена в рамках ГПНИ 2011-2015 гг. «Инновационные технологии в АПК», подпрограмма «Инновационные технологии в животноводстве», задание 4.70: «Разработка и обоснование параметров системы многодвигательного частотно-регулируемого асинхронного электропривода вальцовых плющилок-измельчителей фуражного зерна», № госрегистрации 20142109.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прищепов М. А., Дайнеко В. А., Прищепова Е. М. Обоснование алгоритма управления регулируемым электроприводом вальцовых плющилок-измельчителей фуражного зерна. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):183-198. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.183-198>

Поступила: 03.02.2020

Принята к публикации: 11.03.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Substantiation of the algorithm for controlling the adjustable electric drive of roller crusher-grinders of forage grain

© 2020. Mikhail A. Pryshchepau[✉], Vladimir A. Daineko, Alena M. Pryshchepava
Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

In recent years, along with the traditional technology of dry grain storage and grinding before feeding, the technology of preserving crushed grain at an early stage of ripeness is widely used. These technologies do not replace each other, but objectively complement each other, that is, they exist in parallel and require appropriate equipment for their implementation. To do this, it is necessary to use universal energy-efficient equipment for crushing feed grain with a high annual load. As such equipment, it is advisable to use roller crusher-grinders with individual electric drive of the rollers. The process

of crushing and grinding grain is significantly affected by the physical and mechanical properties of the grain and the design and technological parameters of roller crusher-grinders. Analysis of the strength properties of the grain shows that in order to reduce the energy intensity the process of crushing the grain must be carried out at a higher moisture content and the deformation rate should be as high as possible. When a certain circumferential speed of the rollers is reached, the process reaches both maximum performance and minimum energy consumption. The control algorithm is based on changing the speed of the rollers stepwise from a lower speed to a higher one. In this case, at each stage a metered portion of grain is crushed between the upper and lower flaps of the vertical loading shaft, and the time by which this portion will have been worked out is measured. This procedure is carried out by changing the speed from lower to higher until the speed at which crushing of the portion will take the minimum time is determined. If the technological process requires a grain grinding mode, the speed of one of the rollers increases from the optimal crushing rate. The speed increase occurs as long as the recuperation current in the parallel-connected DC buses of the frequency converters increases.

Keywords: frequency-controlled electric drive, rheological coupling, energy intensity, productivity, crushing, grinding, physical and chemical properties, deformation rate, optimal crushing rate

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the SPSR 2011-2015 "Innovative technologies in agriculture", the subprogram "Innovative technologies in animal husbandry", task 4.70: "Development and justification of parameters of the multi-motor frequency-controlled asynchronous electric drive of roller flatteners-feed grain grinders", state registration No. 20142109.

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

For citation: Pryshchepau M. A., Daineka V. A., Pryshchepava A. M. Substantiation of the algorithm for controlling the adjustable electric drive of roller crusher-grinders of forage grain. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):183-198. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.183-198>

Received: 03.02.2020

Accepted for publication: 11.03.2020

Published online: 21.04.2020

Республика Беларусь на протяжении последних пяти лет производит порядка 8-10 млн тонн зерна основных зерновых культур, из которых свыше 50 % убирают на фуражные цели, причем после уборки для хранения его необходимо сушить, затем перед скармливанием измельчать, что требует больших капитальных вложений, значительных энерго- и трудозатрат, составляющих более 50 % от общих трудозатрат в приготовлении комбикормов. Этим и обусловлен поиск более простых и дешевых приемов сохранения урожая, особенно фуражного зерна, которое можно скармливать животным непосредственно во влажном состоянии.

В последние годы наряду с традиционной технологией сухого хранения зерна и измельчения перед скармливанием широко используется технология консервирования плющеного зерна ранней стадии спелости. Последний сравнительно новый способ заготовки, хранения и использования фуражного зерна. Принцип хранения при этой технологии такой же, как и при силосовании трав, то есть кормовая масса хранится с использованием консерванта в герметичных условиях, препятствующих деятельности вредных микроорганизмов.

В настоящий период применяемые технологии не заменяют друг друга, а объективно дополняют, то есть существуют параллельно и требуют соответствующего оборудования для их реализации. Традиционная технология хранения и измельчения сухого зерна требует использования измельчающего оборудования,

а технология консервирования плющеного влажного зерна – плющилок, как правило, вальцовых.

Практический опыт использования плющилок показывает, что в течение года они работают 2-3 недели и обладают низкой годовой загруженностью.

Цель исследований – обосновать целесообразность использования взаимосвязанного частотно-регулируемого асинхронного электропривода вальцов с предложенным алгоритмом управления в плющилках-измельчителях для повышения их годовой загруженности и энергоэффективности процессов плющения и измельчения фуражного зерна.

Материал и методы. Теоретические и экспериментальные исследования проведены в 2011-2017 гг. на базе УО «Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет» на основе методов математического моделирования с использованием законов теоретической механики и механики материалов.

Результаты и их обсуждение. Теоретическое обоснование. Измельчение корма играет важную роль в усвоении питательных веществ организмом животных и птицы. Чем мельче частица (до определенного размера), тем быстрее она обрабатывается желудочным соком животного, птицы и лучше усваивается. Пылевидные частицы измельчаемого зерна, которых при измельчении молотковыми дробилками-измельчителями образуется до 20-30 %, конгломерируются, и желудочный сок плохо проникает внутри этих конгломератов (комков).

Этот главный недостаток молотковых дробилок-измельчителей исключают вальцовые плющилки-измельчители. Работа вальцовых плющилок-измельчителей основана на сжатии (плющении), сдвиге и истирании зерна (материала). При вращении пары вальцов их поверхности затягивают зерно (материал) в межвальцовое пространство и разрушают его. Если линейная скорость образующих поверхностей вальцов одинаковая, то происходит плющение зерна, если скорость разная, то наряду с плющением зерна происходит и его сдвиг, что в итоге измельчает зерно.

При этом на процесс плющения и измельчения зерна оказывают существенное влияние физико-механические свойства зерна, к которым относятся объемная масса, плотность, влажность, форма и размеры зерновки, коэффициент трения, прочность, пленчатость, стекловидность [1, 2].

Достаточно системно, основываясь на исследованиях многих авторитетных авторов, процесс измельчения зерна на вальцовых станках изложен в работе [3], согласно которой первые работы в этом направлении были выполнены профессором П. А. Афанасьевым, установившим, что относительное сжатие зерна до его разрушения прямо пропорционально нагрузке на него. На основании проведенных исследований им была получена зависимость, позволяющая вычислять работу, необходимую для разрушения зерна сжатием. С. А. Чистов определял усилия разрушения зерна пшеницы при деформациях сжатия и среза и установил, что разрушающие усилия сжатия в 2-3 раза превышают усилия среза. Значительный вклад в изучение физико-механических свойств зерна при его деформации внес В. Я. Гиршсон, определивший на специальном прессе разрушающие усилия при растяжении, сжатии и сдвиге для целого зерна пшеницы и ржи и их анатомических частей. Им установлено, что разрушающие усилия среза как для целого зерна, так и для его составляющих в 3-5 раз меньше, чем при деформации сжатия. Аналогичные данные, подтверждающие эти выводы, были получены П. П. Тарутиным и Н. М. Орловым, Н. В. Враским, П. Г. Демидовым, И. В. Крагельским, А. Л. Шполянской и другими исследователями. Проведенные исследования по изучению условий деформирования зерна при его измельчении на вальцевых станках существенно расширил и дополнил С. Д. Хусид, используя фундаментальные труды В. Д. Куз-

нецова по физике твердого тела, в которых введено понятие о скорости деформации твердых тел, физический смысл которого связан со скоростью приложения разрушающих усилий к разрушаемому телу, скоростью уменьшения объема измельчаемого тела. Скорость деформирования твердых тел представляет собой первую производную от относительной деформации во времени. Увеличение скорости деформации твердых тел, как правило, приводит к их крупному разрушению. Исследования С. Д. Хусида показали, что скорость деформирования – это важный фактор в процессе измельчения зерновых продуктов, существенно влияющий на процесс их измельчения. Эндосперм пшеницы при влажности 13-14 % представляет собой типично хрупкое тело, однако при определенных условиях силового нагружения он может проявлять свойства пластичных тел. Исследованиями установлено, что повышение влажности зерна приводит к увеличению пластичности зерна в целом и его анатомических частей. При этом несмотря на то, что снижается твердость эндосперма с повышением влажности зерна, его сопротивляемость разрушению в целом возрастает за счет еще большего возрастания сопротивляемости разрушению его оболочек. Поэтому при измельчении увлажненного зерна затраты энергии, как правило, больше, чем при измельчении сухого. Установленная закономерность наиболее резко выражена для низко-стекловидного зерна.

При отрицательной температуре зерна (промораживании) зерно становится более хрупким, и прочность его понижается, а соответственно, уменьшаются и затраты энергии на его измельчение.

Рассматривая условия силового нагружения зерновки измельчаемого продукта в межвальцовом пространстве при разных линейных скоростях образующих вальцов можно утверждать, что на зерновку в точке захвата действуют две силы, одна из которых со стороны быстровращающегося вальца, вторая со стороны медленновращающегося. Эти силы направлены по касательной к окружности вальцов, причем первая, захватывает в межвальцовое пространство, а вторая выталкивает в силу разных окружных скоростей вальцов. После захвата зерновки в межвальцовое пространство на нее воздействуют также сжимающие силы, равные по величине, но направленные в противоположные стороны и зависящие от физико-механических свойств

зерна и межвальцового зазора. Таким образом, на зерновку, находящуюся в рабочей зоне, одновременно действуют сдвигающие и сжимающие усилия, определяющие характер и эффективность процесса измельчения. При этом необходимо учитывать не только величину этих усилий, но и их соотношение, которое определяется соотношением окружных скоростей вальцов, а их величина зависит от усилий сжатия измельчаемого зерна. Важна также скорость приложения этих усилий, то есть скорость деформации. С увеличением скорости деформации создаются условия для хрупкого разрушения как наиболее эффективного.

Подытоживая вышесказанное, можно отметить, что процесс измельчения зерна в межвальцовом пространстве определяется величиной и соотношением сдвигающих и сжимающих усилий, а также скоростью его деформирования, при этом эффективность измельчения возрастает с увеличением сдвигающих усилий и скорости деформирования.

Для подтверждения обоснованности сделанного выше вывода о влиянии скорости деформации на процесс измельчения было проведено изучение деформации зерновки пшеницы в условиях сжимаемости плоскими штампами и вальцами [4]. Из указанной работы вытекает, что на процесс деформирования зерна в большей степени влияют такие механические свойства, как упругость и вязкость. Упругость связана с первым этапом механического нагружения зерна, а вязкость с последующими этапами возрастания нагрузки. Исследования плющения зерна на прочностной машине Инстрон показали, что данный процесс можно описать обобщенной моделью Кельвина-Фойгта, согласно которой реологическая связь между напряжением и относительной деформацией зерновки примет следующий вид [5]:

$$\sigma = \varepsilon E + \gamma \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где σ – напряжение в зоне контакта плиты Инстрона и поверхности зерновки, $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ – относительная линейная деформация зерновки, Δl – абсолютная линейная деформация зерновки, м, l – толщина зерновки до деформации, м, E – коэффициент упругости зерновки, Па, γ – коэффициент вязкости зерновки, Па·с, t – время процесса деформирования, с, Па.

Во время плющения зерновки пятно (площадь) контакта растёт, а толщина l уменьшается до достижения Инстроном заданного максимального давления.

Зависимость силы давления плиты Инстрона от напряжения на поверхности контакта выражаем

$$P_{zg} = \int_0^\varepsilon \sigma s d\varepsilon, \quad (2)$$

где s – площадь поверхности контакта зерновки с плитой деформатора, м².

Предположим, что скорость деформации постоянная, то есть $\frac{d\varepsilon}{dt} = v = \text{const}$, тогда формула (2) примет вид:

$$P_{zg} = \int_0^\varepsilon \varepsilon (E + \gamma v) s d\varepsilon. \quad (3)$$

После интегрирования имеем:

$$P_{zg} = \frac{s\varepsilon^2}{2} \cdot (E + \gamma v). \quad (4)$$

Параметры P_{zg} , s , ε , v определим из экспериментальных данных, полученных с помощью Инстрона. Из уравнения (4) мы можем найти любое одно неизвестное из двух (γ , E) при условии, что другое известно.

Во время плющения зерновки пшеницы сорта Корвет на Инстроне были определены средние параметры процесса плющения: $P_{zg} = 3000$ Н, $l = 0,003$ м, $\Delta l = 0,0026$ м, $s = 0,00001$ м².

В результате, после обработки экспериментальных исследований получены зависимости коэффициента вязкости γ от изменения коэффициента упругости $E = 500 \dots 800$ МПа при разной продолжительности процесса плющения пшеницы t :

$$\begin{aligned} \gamma &= -0,1154E + 92,171, \text{ МПа} \cdot \text{с} \\ \text{при } t &= 0,1 \text{ с } (v = 8,67 \text{ о.е/с}); \\ \gamma &= -1,9357E + 1733,3, \text{ МПа} \cdot \text{с} \\ \text{при } t &= 2 \text{ с } (v = 0,43 \text{ о.е/с}); \\ \gamma &= -4,8393E + 4333,2, \text{ МПа} \cdot \text{с} \\ \text{при } t &= 5 \text{ с } (v = 0,17 \text{ о.е/с}). \end{aligned}$$

Из приведенных зависимостей очевидно, что коэффициент вязкости зерновки зависит от времени плющения. Чем больше время плющения, тем больший коэффициент вязкости. Работа, затраченная на деформирование зерна, определяется

$$dA = \sigma d\varepsilon, \quad (5)$$

где A – удельная работа деформации или работа, отнесенная к объему зерновки, Па.

Аналогично удельная работа деформации при деформировании зерновки в плющилке определена в работе [4].

При этом сила давления вальцов на зерновку вычисляется по формуле

$$P_{zg} = \frac{\pi}{8} r^2 \sin^2 \alpha \varepsilon_x^2 (E + \gamma v_x), \quad (6)$$

где r – радиус вальца, м, α – угол деформации зерновки, рад, ε_x – относительная линейная

деформация зерновки в межвальцовом пространстве, v_x – скорость деформации зерновки в межвальцовом пространстве, м/с.

Из приведенных формул очевидно, что наилучшая эффективность плющения (сжатия) зерна будет при минимальной удельной работе деформации A (5), а она будет наименьшей при минимальном напряжении σ в зерновке (2) и соответственно силе давления P_{zg} (4), (6). Детальный анализ полученных выражений (4) и (6) показывает, что величина силы давления в обоих выражениях будет определяться соотношением изменяющихся параметров выражения $E + \gamma v$ или $E + \gamma v_x$, так как остальные параметры в обоих выражениях можно принять постоянными. Использование зависимостей коэффициента вязкости от изменения коэффициента упругости зерновки пшеницы при разной скорости деформации показывает, что для одного и того же значения коэффициента упругости зерновки, при изменении скорости деформации в сторону увеличения, коэффициент вязкости будет уменьшаться. Значит, произведение их значений будет иметь минимум при определенных значениях скорости деформации и коэффициента вязкости и изменяться с изменением коэффициента упругости, что подтверждает результаты, полученные вышеуказанными исследователями.

Кроме физико-механических свойств зерна, на процесс плющения и измельчения зерна оказывают влияние конструктивные и технологические параметры вальцовых плющилок-измельчителей.

Работы исследователей В. И. Сыроватки [6, 7], В. С. Ромалийского [8], В. А. Сысуева [9, 10], П. А. Савиных [11, 12, 13], В. А. Одегова [11, 14], А. И. Пунько и др. [15, 16] посвящены изучению влияния не только физико-механических свойств зерна, но и основных конструктивных и технологических параметров на такие важные показатели работы вальцовых плющилок-измельчителей, как производительность, энергоемкость, качество получаемого продукта, а также на распорное усилие между вальцами. При этом необходимо отметить, что наибольшее число работ посвящено исследованию зависимостей производительности и энергоемкости процессов плющения и измельчения зерна от окружной скорости образующих поверхностей вальцов, зазора между вальцами, диаметров вальцов, шага и угла заострения их рифлей, соотношения окружных скоростей вальцов для различных зерновых культур и различной влажности

зерна. Что касается качества получаемого продукта, т. е. плющеного или измельченного зерна, то оно оценивается, как правило, степенью измельчения при плющении зерна или модулем помола при его измельчении. Степенью измельчения называют отношение характерного линейного размера до измельчения к соответствующему размеру зерна после плющения (толщине плющения зерна): рекомендуемая толщина для крупного рогатого скота – 1,0-1,8 мм, для свиней – 0,6-1,1 мм, птицы – 1,5-2,0 мм. Для зерен сферической формы характерный линейный размер зерна до измельчения равен его диаметру, для зерен вытянутой формы – толщине зерна. Качественным показателем измельчения зерна является модуль помола, который вычисляется по результатам ситового анализа как средневзвешенный диаметр частиц измельченного зерна. При этом гранулометрический состав измельченного зерна будет более выравненным, если на сите с самым крупным отверстием и под ситом с самым мелким отверстием будет находиться минимальное количество пробы измельченного зерна. Проведенные нами исследования и исследования других авторов показывают, что высеиваемое на вальцовых плющилках-измельчителях зерна под ситом с самым мелким отверстием в разы меньше аналогичного высева при измельчении зерна на молотковых дробилках, достигающего 20-30 % от массы измельченного зерна, что снижает эффективность скормливаемого корма. Степень измельчения зерна при его плющении определяется межвальцовым зазором, а модуль помола зерна при его измельчении определяется межвальцовым зазором и соотношением окружных скоростей образующих вальцов.

Известны работы [17, 18], в которых производится анализ влияния конструктивных параметров на производительность некоторых конструкций плющилок. Наиболее полно теоретический анализ влияния конструктивных параметров на производительность вальцовых плющилок-измельчителей при любом соотношении частот вращения и диаметров их вальцов, а также коэффициентов трения вальцов о зерновку и угле наклона плоскости, проходящей через их оси вращения к горизонтальной плоскости проведен в работе [19].

Из анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в работах [17, 18, 19, 20] следует, что при определении производительности, а затем и мощности вальцовой плющилки-измельчителя

необходимо учитывать скольжение зерна по поверхности вальцов. Используя результаты исследований, изложенных в этих же работах [17, 18, 19, 20], можно считать, что при плющении зерна существует дуга на поверхности каждого вальца, в пределах которой зерновка испытывает деформацию и скользит по поверхности вальца. Тогда весь путь, проходимый зерновкой по вальцам, можно условно разделить на длины двух дуг: дуги деформации, ограниченной углом деформации, и длины дуги скольжения, ограниченной углом скольжения. Если длина дуги деформации практически однозначно определяется размерами и физико-механическими свойствами зерновки, а также зазором между вальцами, то длина дуги скольжения будет иметь гораздо более сложную зависимость, даже при плющении зерна. Если же рассматривать не только плющение, но и измельчение зерна вальцовыми измельчителями, то эта зависимость будет еще сложнее ввиду наличия в процессе измельчения зерна, кроме деформации и скольжения зерновки, сдвига, обусловленного разностью линейных скоростей образующих поверхностей вальцов.

В работе [19, 20] получена скорость зернового потока для плющилки с одинаковыми вальцами с учетом скольжения зерна

$$v_3 = \frac{D}{\frac{D}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m} \right) \left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)}}, \quad (7)$$

где D – диаметр вальцов, м, v – линейная скорость образующих вальцов, м/с, v_0 – начальная скорость зерновки, м/с, α_1 – угол деформации, рад, g – ускорение свободного падения, м/с², F – дополнительная внешняя сила, действующая на зерновку, Н, m – масса зерновки, кг, f – коэффициент трения зерновки о вальцы, b_3 – зазор между вальцами, м, d_n – средняя толщина (диаметр) зерновки, м.

Тогда объемная производительность плющилки определяется по общеизвестной формуле:

$$Q = b_3 v_3 L, \quad (8)$$

где L – длина вальцов, м.

С учетом формулы (7):

$$Q = \frac{L b_3 D}{\frac{D}{v} + \frac{v - v_0}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m} \right) \left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)}}. \quad (9)$$

Умножив объемную производительность на объемную массу зерна, можно получить массовую производительность в кг/с.

Учитывая, что максимальная объемная пропускная способность вальцов плющилки определяется по формуле

$$Q_{max} = b_3 v L, \quad (10)$$

то коэффициент использования максимальной пропускной способности плющилки ($0 < k_Q < 1$)

$$k_Q = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{b_3 v_3 L}{b_3 v L} = \frac{v_3}{v}, \quad (11)$$

или

$$k_Q = \frac{D}{D + \frac{v(v - v_0)}{\alpha_1 \left(g + \frac{F}{m} \right) \left(f \sqrt{1 - \left(\frac{D + b_3}{D + d_n} \right)^2} + \frac{D + b_3}{D + d_n} \right)}}. \quad (12)$$

Анализ полученных выражений показывает, что увеличение скорости зернового потока и производительности плющилки возможно:

- увеличивая начальную скорость зерновки v_0 до линейной скорости образующих вальцов v ;

- увеличивая коэффициент трения зерновки о вальцы f , а также диаметр вальцов D , так как в данном случае величина $\frac{D + b_3}{D + d_n} = \cos \alpha_1$ будет иметь максимальное значение при любых реальных величинах зазора между вальцами b_3 и средних толщинах зерновки d_n ;

- приложением к силе тяжести зерновки дополнительной силы как в устройствах¹, обеспечивающей ей дополнительное ускорение $a_1 = \frac{F}{m}$.

Таким образом, обзор и анализ имеющихся теоретических и экспериментальных исследований показывает, что на процесс плющения и измельчения зерна вальцами оказывают в основном физико-механические свойства зерна и конструктивно-технологические параметры плющилок-измельчителей.

¹Дайнеко В. А., Прищепова Е. М., Воробьев Н. А. Вальцовая плющилка зерна: пат. №14052 Республика Беларусь. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2011. №1. С. 84. Режим доступа: <https://ncip.by/upload/iblock/b93/b930612cca6c06eb8e5d16c35d494025.pdf>; Дайнеко В. А., Прищепова Е. М., Воробьев Н. А., Карпович М. К. Вальцовая плющилка зерна: пат. №14696 Республика Беларусь. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2011. №4. С.74-75. Режим доступа: <https://ncip.by/upload/iblock/d08/d0871d7721f25053aadda4255acfc27a.pdf>; Шило И.Н., Воробьев Н.А., Прищепова Е.М. Вальцовая плющилка зерна: пат. №15375 Республика Беларусь. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2012. №1. С.72. Режим доступа: <https://ncip.by/upload/iblock/b09/b093e2db77ba216adb808aabddda7ace.pdf>

Как показывает анализ физико-механических свойств зерна, увеличение его влажности способствует повышению коэффициента трения зерновки о поверхность вальца, пластичности зерна в целом и его анатомических частей, а также снижению твердости эндосперма зерна.

Анализ прочностных свойств зерна показывает, что для уменьшения энергоемкости процесса плющения зерна, его необходимо проводить при более высокой влажности зерна и как можно с более высокой скоростью деформации. Однако, этот процесс увеличения скорости деформации не бесконечен, при достижении определенной окружной скорости вальцов процесс достигает одновременно максимальной производительности и минимальной энергоемкости с последующим снижением производительности и повышением энергоемкости за счет проскальзывания рабочей поверхности вальцов относительно зерна. Причем эти взаимопротивоположные экстремумы производительности и энергоемкости существуют при разной окружной скорости вальцов для различных диаметров вальцов, межвальцовых зазоров, влажности и виде зерновых культур. Существенное влияние на мощность привода вальцов плющилки оказывает зазор между вальцами, диаметр вальцов, окружная скорость вальцов и тип их рабочей поверхности.

При вращении вальцов навстречу друг другу с разной окружной скоростью их рабочих поверхностей зерно будет испытывать одновременно сжатие, сдвиг, истирание, а при наличии рифлей на вальцах и резание в соизмеримых соотношениях, что делает процесс сложным в определении и настройке его технологических параметров, обеспечивающих необходимую степень измельчения зерна и высокие энергетические показатели процесса измельчения.

Обобщая рассмотренные выше исследования, можно сделать вывод, что полученные многими исследователями зависимости для определения производительности и мощности вальцовой плющилки, энергоемкости процесса сложны и ограничены для использования в расчетах, так как включают эмпирические коэффициенты, рассчитанные для конкретных конструкций, узкого диапазона изменения конструктивных и технологических параметров. В подавляющем большинстве в них не учитывается также скольжение зерна по рабочей поверхности вальцов, что не позволя-

ет использовать их для достоверного обоснования параметров и режимов работы плющилок при создании более совершенных образцов, обеспечивающих плавное регулирование окружной скорости вальцов для определения взаимопротивоположных экстремумов производительности и энергоемкости. Еще в большей мере усложняется этот вопрос при использовании плющилки в качестве измельчителя, то есть при вращении вальцов с разной окружной скоростью, где еще требуется регулирование окружной скорости вальцов друг относительно друга.

Экспериментальные исследования. Для проверки правильности высказанной гипотезы и адекватности полученных выражений была проведена их экспериментальная проверка на установке с гладкими вальцами.

Подача зерна в межвальцовое пространство осуществлялась не традиционно используемым способом, то есть самотеком из сужающегося к межвальцовому пространству бункера, а через симметрично установленную относительно межвальцового зазора вертикальную с прямоугольным поперечным сечением загрузочную шахту. Один из размеров вышеуказанного сечения загрузочной шахты равен длине вальцов, а второй, ширина $b_{\text{ш}}$ – диаметру вальца. При этом шахта была оборудована сверху поршнем, обеспечивающим заданное давление на зерно, а снизу клапаном, принудительно открываемым для выгрузки зерна из шахты при эксперименте. Для электропривода вальцов плющилки использовались асинхронные двигатели с преобразователями частоты питающего напряжения. Эксперимент проводился в следующей последовательности. В загрузочную шахту под поршень загружалась определенная порция зерна, преобразователями частоты устанавливались необходимые частоты вращения вальцов. Затем открывался клапан для подачи зерна в межвальцовое пространство, при этом измерялась мощность, затрачиваемая на плющение, и время с момента открытия клапана до окончания процесса плющения. При эксперименте изменялась частота вращения вальцов n , сила давления на поршень, соответственно, и на зерно F , при постоянном межвальцовом зазоре b_z , ширине $b_{\text{ш}}$ в нижней части шахты в направлении, перпендикулярном осям вальцов. Результаты проведенного эксперимента представлены на рисунках 1 и 2 [21].

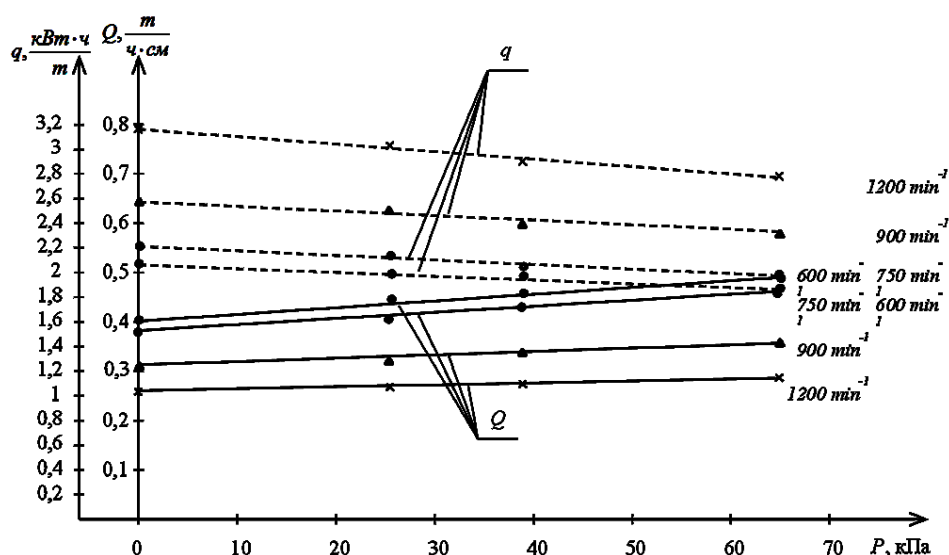


Рис. 1. Графики изменения удельной производительности Q и энергоёмкости q плющилки для различных частот вращения валцов n при изменении давления P в загрузочной шахте ($b_3 = 1$ мм, $b_w = 40$ мм) /
Fig.1. Graphs of changes in the specific productivity Q and energy intensity q of the crusher for different speeds of rotation of the rollers n when the pressure P changes in the loading shaft ($b_{gap} = 1$ mm, $b_w = 40$ mm)

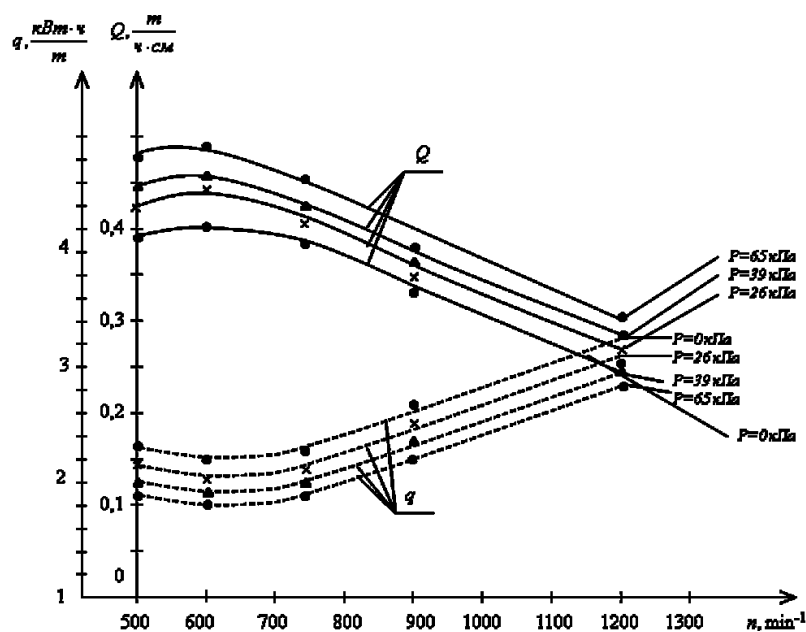


Рис. 2. Графики изменения удельной производительности Q и энергоёмкости q вальцевой плющилки для различных давлений P в загрузочной шахте при изменении частоты вращения валцов n ($b_3 = 1$ мм, $b_w = 40$ мм) /
Fig.2. Graphs of changes in the specific productivity Q and energy intensity q of the roller crusher for different pressure P in the loading shaft when changing the rotation frequency of the rollers n ($b_{gap} = 1$ mm, $b_w = 40$ mm)

Для того чтобы вальцовая плющилка-измельчитель выполняла технологические процессы плющения и измельчения зерна и обеспечивала высокую энергоэффективность процессов в ней необходимо использовать взаимосвязанный частотно-регулируемый асинхронный электропривод для каждого из валцов в отдельности, схема силовой части кото-

рого представлена на рисунке 3. Предложенная схема при наиболее энергоемком процессе измельчения зерна обеспечивает рекуперацию электрической энергии (около 20 %) по шинам постоянного тока от асинхронного двигателя АД медленновращающегося вальца к АД быстро вращающегося вальца [22, 23]. При этом в работе [24] показано, что минимум удельных

приведенных затрат при высокой загрузке плющилки-измельчителя будет обеспечиваться минимизацией удельных энергозатрат процессов плющения и измельчения зерна, то есть

$$q = \frac{P}{Q} \rightarrow \min. \quad (13)$$

Учитывая, что мощность, потребляемая электроприводом плющилки-измельчителя P , и производительность плющилки-измельчителя Q напрямую зависят от скорости валцов, то задача алгоритма управления сводится к поиску скорости валцов,

при которой удельные энергозатраты будут минимальными.

Справедливость этого вытекает и из баланса мощности, затрачиваемой электроприводом на плющение

$$P_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{тр.с}} + P_{\text{д}} + P_{\text{тр.п}}}{\eta}, \quad (14)$$

где $P_{\text{тр.с}}$ – мощность трения скольжения поверхности валцов по зерновке, Вт, $P_{\text{д}}$ – мощность деформации зерновки, Вт, $P_{\text{тр.п}}$ – мощность трения в опорных подшипниках валцов, Вт, η – КПД привода.

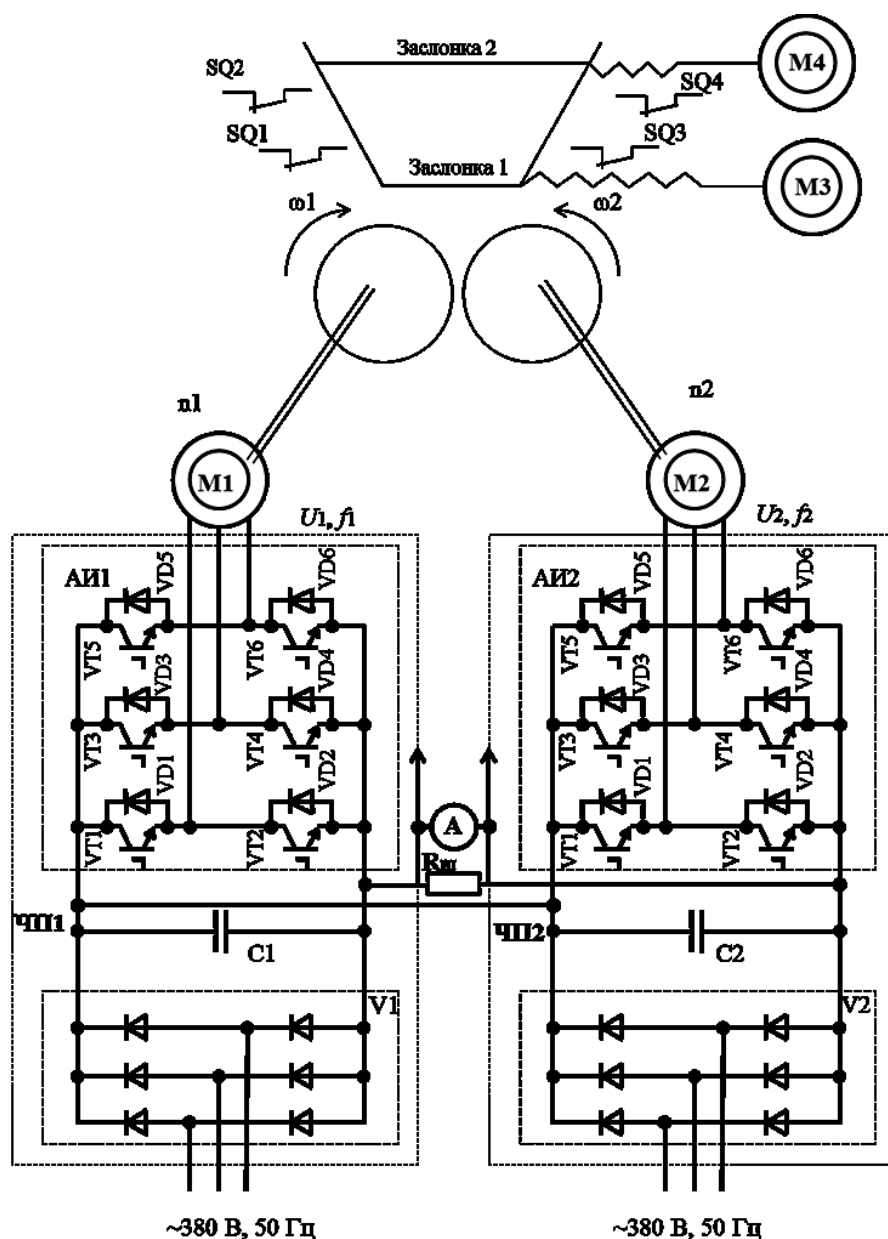


Рис. 3. Схема силовой части системы управления взаимосвязанного частотно-регулируемого асинхронного электропривода /

Fig. 3. Diagram of the power part of the control system of an interconnected frequency-controlled asynchronous electric drive

Учитывая, что мощность трения скольжения валцов по зерновке $P_{тр.с}$ и мощность деформации зерновки P_d согласно проведенному выше анализу процесса деформации с помощью обобщенной модели Кельвина-Фойгта [4] будут иметь минимум при определенных скоростях валцов. При этом скорость минимума мощности трения скольжения будет определяться динамическим коэффициентом трения скольжения, а скорость минимума мощности деформации – значением скорости деформации и коэффициента вязкости зерна. Следовательно, ввиду сложности вышеуказанных зависимостей совпадения минимумов мощностей при одной скорости маловероятно. Однако при определенной скорости будут обеспечиваться минимальные суммарные затраты мощностей в электроприводе плющилки, а, соответственно, и наибольшая подача зерна из-за минимального его проскальзывания на валцах.

Для непосредственной технической реализации алгоритма управления электроприводом с обоснованной целевой функцией и критерием оптимизации необходимо за определенный промежуток времени определять среднеинтегральную потребляемую из сети мощность электропривода и среднеинтегральную производительность плющилки-измельчителя зерна при изменении скорости валцов. Если измерение среднеинтегральной потребляемой из сети мощности электропривода не вызывает технических сложностей, то измерение среднеинтегральной производительности валцовой плющилки-измельчителя весьма проблематично. Это обусловлено отсутствием высокоточных серийно выпускаемых поточных расходомеров зерна, ввиду того, что на точность их измерений существенно оказывают влияние влажность, температура, плотность зернового потока и вид культуры.

Наиболее просто и с достаточной для практической реализации точностью измерение производительности плющилки-измельчителя можно осуществить путем измерения времени плющения дозированной объемной порции зерна, находящегося в вертикальной шахте загрузки плющилки-измельчителя между нижней и верхней заслонками (рис. 4).

Таким образом, техническая реализация способа управления возможна через нахождение такой скорости валцов, при которой

дозированная объемная порция зерна будет обработана за минимальное время.

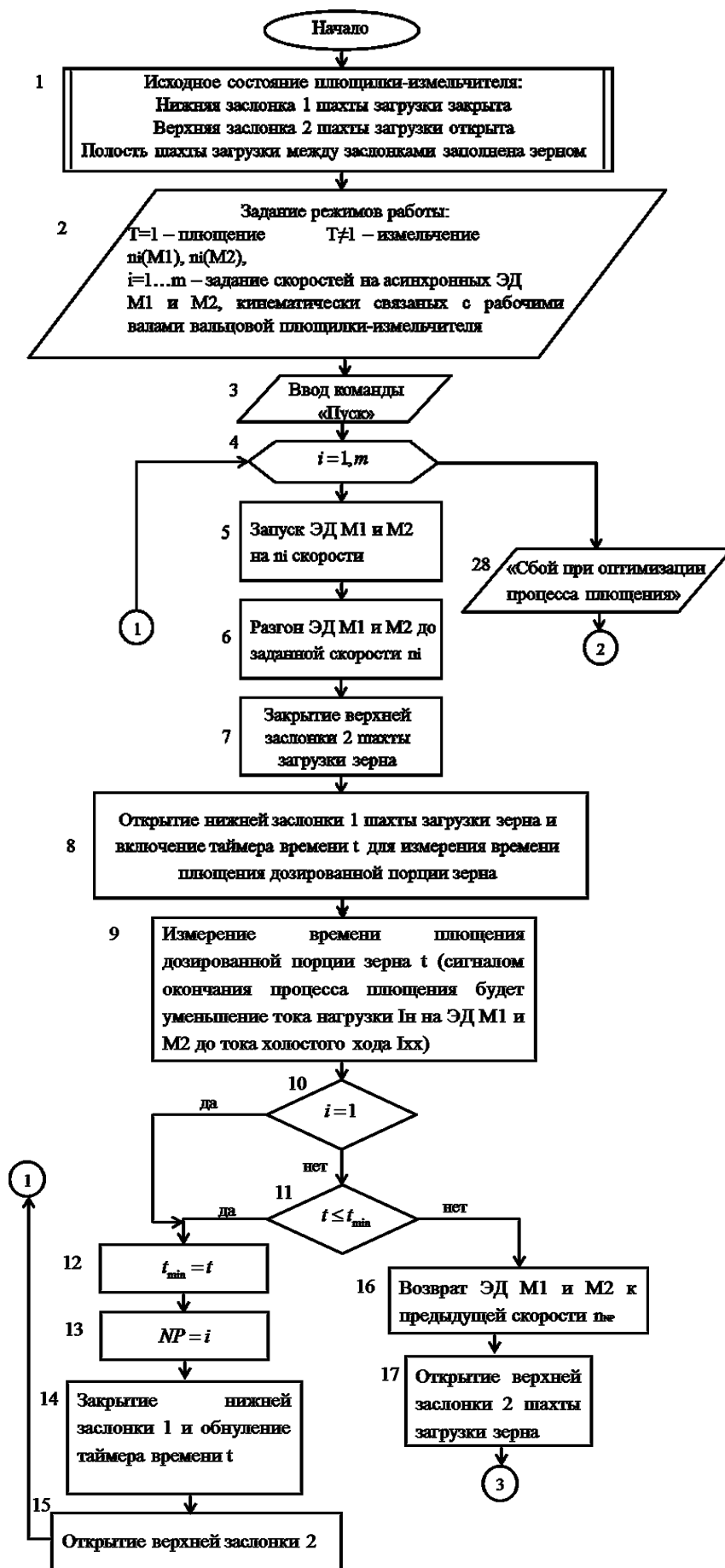
При реализации процесса измельчения зерна в балансе мощности, затрачиваемой электроприводом на измельчение $P_{изм}$, необходимо дополнительно учитывать мощность, затрачиваемую на сдвиг зерновки $P_{сдв}$ и мощность проскальзывания валцов по зерновке $P_{проск}$ при сдвиге, т. е.

$$P_{изм} = \frac{P_{тр.с} + P_d + P_{тр.п} + P_{сдв} + P_{проск}}{\eta}. \quad (15)$$

Из приведенного выражения, очевидно, что первые три составляющие баланса мощности будут иметь те же оптимальные значения, что и при плющении зерна, мощность, затрачиваемая на сдвиг зерна $P_{сдв}$ также должна быть определенной и будет определяться модулем упругости и размером зерна, межвалцовым зазором и геометрическими размерами валцов, а мощность проскальзывания валцов по зерновке $P_{проск}$ при сдвиге будет определяться также модулем упругости и размером зерна, межвалцовым зазором и геометрическими размерами валцов, и кроме того, соотношением разности скоростей валцов. Следовательно, регулируя соотношение разности скоростей валцов можно влиять на величину этой составляющей и соответственно на общий баланс мощности.

После того, как найден оптимальный скоростной режим плющения зерна, необходимо увеличивать скорость на одном из валцов до тех пор, пока будет расти ток рекуперации I_p в перемычках шин постоянного напряжения преобразователей частоты. Если при некотором увеличении скорости одного из валцов прекратится увеличение тока рекуперации I_p , то это значит, что начинает расти бесполезная составляющая баланса мощности $P_{проск}$, и оптимальный режим измельчения зерна уже достигнут [25]. Дальнейшее увеличение скорости быстровращающегося вальца будет вести к увеличению удельных энергозатрат на измельчение зерна.

Для пояснения вышесказанного на рисунке 4 приведена блок-схема алгоритма управления взаимосвязанными электроприводами валцовых плющилок-измельчителей зерна с рекуперацией электрической энергии, где в блоке 1 оговорено исходное состояние заслонок вертикальной шахты загрузки зерна.



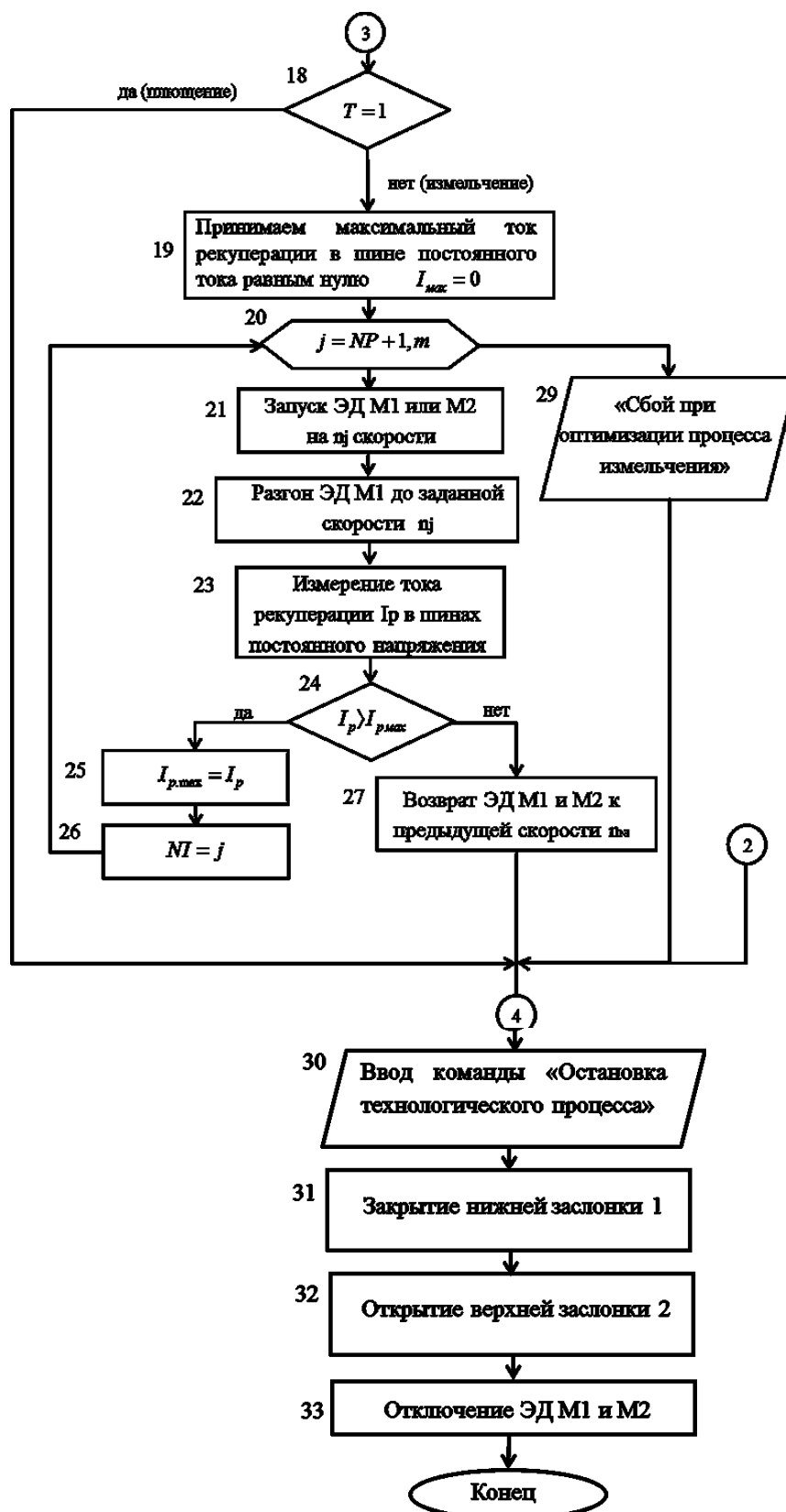


Рис. 4. Блок-схема алгоритма управления взаимосвязанными электроприводами валцов плющилки-измельчителя зерна с рекуперацией электрической энергии /

Fig. 4. Block diagram of the algorithm for controlling the interconnected electric drives of the rollers of grain crusher-grinder with electric energy recovery

В основу алгоритма управления заложено изменение скорости валцов ступенчато (m ступеней) от меньшей скорости к большей. В блок-схеме алгоритма скорости валцов и технологический режим работы плющилки-измельчителя задаются в блоке 2. При этом на каждой ступени производят плющение дозированной порции зерна, находящейся между верхней и нижней заслонками вертикальной загрузочной шахты, и измерение времени за которое эта порция будет отработана. Эту процедуру проводят от меньшей скорости к большей до тех пор, пока не определена скорость, при которой плющение порции будет происходить за минимальное время. В блок-схеме алгоритма управления электроприводом эта процедура будет реализовываться в блоках 3-17.

Если по технологическому процессу требуется режим измельчения зерна (блок 18), то далее происходит увеличение скорости одного из валцов уже от оптимальной скорости плющения. Увеличение скорости происходит до тех пор, пока растет сила тока рекуперации I_p в перемычках шин постоянного напряжения преобразователей частоты. Эта процедура будет реализовываться в блок-схеме алгоритма в блоках 19-27. В блоках 28-29 будет выдаваться сообщение о том, что оптимизация скоростного режима еще не достигнута, то есть необходимо увеличить количество ступеней скорости или дискретность между ступенями.

В блоках 30-33 заложена процедура выключения плющилки-измельчителя с возвратом верхней и нижней заслонок шахты загрузки в исходное состояние и остановкой приводных двигателей М1 и М2.

Использование предлагаемого способа управления взаимосвязанными электроприводами валцовой плющилки-измельчителя зерна позволит минимизировать удельные энергозатраты на выполнение технологических операций плющения и измельчения зерна путем задания оптимальных скоростных режимов взаимосвязанной работы электроприводов.

Выводы.

1. Приведенные в статье исследования показывают, что на энергоэффективность процессов плющения и измельчения фуражного зерна существенное влияние оказывают его физико-механические свойства и конструктивно-технологические параметры плющилки-измельчителя зерна.

2. Любое изменение физико-механических свойств обрабатываемого зерна приводит и к изменению реологической связи между напряжением и относительной деформацией зерновки (к изменению параметров обобщенной модели Кельвина-Фойгта), что в свою очередь повлечет необходимость изменения технологических параметров обработки зерна (скорости плющения зерна).

3. Для того чтобы валцовая плющилка могла выполнять функции плющения и измельчения зерна, обеспечивая тем самым высокую ее годовую загрузенность, необходимо использовать индивидуальный регулируемый привод каждого из валцов.

4. Высокая энергоэффективность работы валцовых плющилок-измельчителей в режиме плющения обеспечивается синхронным регулированием скорости вращения валцов до достижения максимальной производительности плющилки-измельчителя зерна, а в режиме измельчения еще дополнительным увеличением скорости вращения одного из валцов до тех пор, пока будет увеличиваться ток рекуперации в параллельно соединённых шинах постоянного напряжения частотных преобразователей приводных двигателей валцов.

5. Минимум удельных энергозатрат в процессах плющения и измельчения зерна наиболее просто контролировать через производительность процесса путем измерения времени плющения дозированной объемной порции зерна, находящегося в вертикальной шахте загрузки плющилки-измельчителя между ее нижней и верхней заслонками, так как максимуму производительности процесса плющения соответствует минимум удельных энергозатрат.

Список литературы

1. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос – Ленинградское отделение, 1978. 560 с.
2. Кукта Г. М. Технология переработки и приготовления кормов. М.: Колос, 1978. 240 с.
3. Мерко И. Т. Совершенствование технологических процессов сортового помола пшеницы. М.: Колос, 1979. 189 с.
4. Чигарев О. Ю., Прищепова Е. М. Некоторые подходы в вопросах деформирования зерна. Агропараметры. 2013;(6):18-20. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/7041>

5. Ишлинский А. Ю. Прикладные задачи механики. М.: Наука, 1986. Т. 1. С. 372.
6. Сыроватка В. И., Сергеев Н. С. Изыскание энергосберегающих рабочих органов для измельчения семян рапса и фуражного зерна. Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2008;(3):3-12.
7. Сыроватка В. И. Использование высоковлажного фуражного зерна в животноводстве. Труды ГОСНИТИ. 2007;(100):127-131. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15004055>
8. Ромалийский В. С. Инновационная техника и ресурсосберегающие технологии для приготовления комбикормов в хозяйствах. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016;(3(23)):158-162.
9. Сысуев В. А., Казаков В. А. Новые технологии послеуборочной технологии послеуборочной переработки зерна и получения высококачественных кормов для животноводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;(5(48)):73-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113608>
10. Сысуев В. А., Савиных П. А., Казаков В. А. Движение зерновки в подводящем канале плющилки зерна. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015;(4(20)):19-24.
11. Одегов В. А., Савиных П. А., Казаков В. А., Поляков С. М. Исследование влияния диаметра и окружной скорости вальцов с гладкой рабочей поверхностью на процесс двухстадийного плющения. Вестник НГИЭИ. 2018;(1(80)):44-55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32324573>
12. Савиных П. А., Казаков В. А., Мошонкин А. М. Теоретические исследования и конструктивная разработка двухступенчатой плющилки зерна. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017;(3(27)):91-97.
13. Савиных П. А., Казаков В. А., Мошонкин А. М. Экспериментально-теоретические исследования питающего устройства плющилки зерна. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019;(3(35)):61-68.
14. Одегов В. А., Комкин А. С., Шилин В. В. Исследование влияния окружной скорости вальцов и влажности материала на основные показатели рабочего процесса двухступенчатого вальцового станка. Пермский Аграрный Вестник. 2018;(1(21)):28-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32664910>
15. Пунько А. И., Романчук Д. И., Савиных В. Н., Гуд А. Н. Анализ конструкций вальцовых измельчителей зернофуража. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. 2011;(45): 172-178. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30716940>
16. Савиных В. Н., Романчук Д. И., Воробьев Н. А. Результаты испытаний плющилки влажного зерна ПВЗ-10. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник (к 80-летию со дня образования НАН Беларуси). 2008;(42): 210-214. Режим доступа: <https://www.elib-rary.ru/item.asp?id=35369746>
17. Воробьев Н. А. Теоретические исследования производительности вальцовой плющилки. Агропанорама. 2008;(2):45-48. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/1263>
18. Дайнеко В. А., Прищепова Е. М. Математическое моделирование мощности вальцовой плющилки зерна. Ukrainian Food Journal. 2012;(3):40-49. Режим доступа: <http://www.ufj.ho.ua/>
19. Дайнеко В. А., Прищепова Е. М. Теоретическое обоснование производительности вальцовой плющилки-измельчителя. Агропанорама. 2012;(2):14-28. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/7245>
20. Шило И. Н., Воробьев Н. А., Прищепова Е. М. К обоснованию мощности привода вальцов плющилки. Агропанорама. 2008;(3):25-28. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/1280>
21. Дайнеко В. А., Прищепова Е. М. К вопросу повышения производительности и снижения удельных энергозатрат вальцовой плющилки зерна. Агропанорама. 2013;(2):24-27. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/6398?mode=full>
22. Прищепов М. А., Гурин В. В., Прищепова Е. М., Иванов Д. М. Устройство управления взаимосвязанными частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами с рекуперацией электрической энергии (варианты): пат. № 21618 Республика Беларусь. № а 20150506; заяв. 26.10.2015; опубл. 28.02.2018. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2018. №1. С. 158. Режим доступа: <https://ncip.by/upload/iblock/f5a/f5a1dfcb7efc24c148aeebb6b129fa29.pdf>
23. Прищепов М. А., Гурин В. В., Прищепова Е. М., Иванов Д. М. Способ управления взаимосвязанными электроприводами с рекуперацией электрической энергии: пат. № 19919 Республика Беларусь. № а 20131163; заяв. 08.10.2013; опубл. 28.02.2016. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2016. №1. С. 133. Режим доступа: <https://ncip.by/upload/iblock/7b1/7b122278043fa35fd69d4258c4cb09ee.pdf>
24. Дайнеко В. А., Гургенидзе И. И., Прищепова Е. М. Обоснование целевой функции и критерия оптимизации конструктивных и технологических параметров системы электропривода вальцовых плющилок-измельчителей зерна. Агропанорама. 2015;(4):30-35. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/4176>
25. Прищепова Е. М., Дайнеко В. А. Способ управления взаимосвязанными приводами вальцовой плющилки-измельчителя зерна с рекуперацией электрической энергии: пат. №21847 Республика Беларусь. № а 20150636; заяв. 16.12.2015; опубл. 30.04.2018. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2018. №2. С. 77-78. Режим доступа: <https://ncip.by/upload/iblock/b43/b4369672f12b7716e201e2bcd49634a5.pdf>

References

1. Mel'nikov S. V. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm*. [Mechanization and automation of livestock farms]. Leningrad: Kolos – Leningradskoe otd-nie, 1978. 560 p.
2. Kukta G. M. *Tekhnologiya pererabotki i prigotovleniya kormov*. [Technology of processing and preparation of feed]. Moscow: Kolos, 1978. 240 p.
3. Merko I. T. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov sortovogo pomola pshenitsy*. [Improvement of technological processes of varietal wheat grinding]. Moscow: Kolos, 1979. 189 p.
4. Chigarev O. Yu., Prishchepova E. M. *Nekotorye podkhody v voprosakh deformirovaniya zerna*. [Some approaches in the issues of grain deformation. Agropanorama] *Agropanorama*. 2013;(6):18-20. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/7041>
5. Ishlinskiy A. Yu. *Prikladnye zadachi mekhaniki*. [Applied problems of mechanics]. Moscow: Nauka, 1986. Vol.1. pp. 372.
6. Syrovatka V. I., Sergeev N. S. *Izyskanie energosberegayushchikh rabochikh organov dlya izmel'cheniya semyan rapsa i furazhnogo zerna*. [Research of energy- saving working bodies for grinding rapeseed and feed grain]. *Nauchnye trudy GNU VNIIMZh Rossel'khozakademii*. 2008;(3):3-12.
7. Syrovatka V. I. *Ispol'zovanie vysokovlazhnogo furazhnogo zerna v zhivotnovodstve*. [Use of high- moisture feed grain in animal husbandry]. *Trudy GOSNITI*. 2007;(100):127-131. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15004055>
8. Romaliyskiy V. S. *Innovatsionnaya tekhnika i resursosberegayushchie tekhnologii dlya prigotovleniya kombikormov v khozyaystvakh*. [Innovation technology and resource-saving technologies for preparation of mixed fodders at farms]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016;(3(23)):158-162.
9. Sysuev V. A., Kazakov V. A. *Novye tekhnologii posleuborochnoy tekhnologii posleuborochnoy pererabotki zerna i polucheniya vysokokache-stvennykh kormov dlya zhivotnovodstva*. [New technologies of post-harvest processing of grain and obtaining of high-quality fodders for animal husbandry]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;(5(48)):73-79. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24113608>
10. Sysuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A. *Dvizhenie zernovki v podvodyashchem kanale plyushchilki zerna*. [Theoretical research and design development of a two-stage grain crusher]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2015;(4(20)):19-24. (In Russ.).
11. Odegov V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A., Polyakov S. M. *Issledovanie vliyaniya diametra i okruzhnoy skorosti val'tsov s gladoy rabochey poverkhnost'yu na protsess dvukhstadiynogo plyushcheniya*. [A study of the influence of the diameter and the circumferential speed of the rollers with a smooth working surface for the two-stage crimping process]. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGII*. 2018;(1(80)):44-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32324573>
12. Savinykh P. A., Kazakov V. A., Moshonkin A. M. *Teoreticheskie issledovaniya i konstruktivnaya razrabotka dvukhstupenchatoy plyushchilki zerna*. [Theoretical research and design development of a two-stage grain crusher]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017;(3(27)):91-97.
13. Savinykh P. A., Kazakov V. A., Moshonkin A. M. *Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya pita-yushchego ustroystva plyushchilki zerna*. [Experimental and theoretical studies of the feeding device of the grain crusher]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2019;(3(35)):61-68.
14. Odegov V. A., Komkin A. S., Shilin V. V. *Issledovanie vliyaniya okruzhnoy skorosti val'tsov i vlazhnosti materiala na osnovnye pokazateli rabochey protsessy dvukhstupenchatogo val'tsovogo stanka*. [The influence of circumferential velocity of rollers and material moisture content on the main indicators of workflow of a two-step roller machine]. *Permskiy Agrarnyy Vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2018;(1(21)):28-33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32664910>
15. Pun'ko A. I., Romanchuk D. I., Savinykh V. N., Gud A. N. *Analiz konstruktivnykh val'tsovykh izmel'chiteley zernofurazha*. [The analysis of designs of grain fodder roller]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. Mezhdvestvennyy tematicheskyy sbornik*. 2011;(45): 172-178. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30716940>
16. Savinykh V. N., Romanchuk D. I., Vorob'ev N. A. *Rezul'taty ispytaniy plyushchilki vlazhnogo zerna PVZ-10*. [The results of tests damp grain roller mill PVZ-10]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. Mezhdvestvennyy tematicheskyy sbornik (k 80-letiyu so dnya obrazovaniya NAN Belarusi)*. 2008;(42): 210-214. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35369746>
17. Vorob'ev N. A. *Teoreticheskie issledovaniya proizvoditel'nosti val'tsovoy plyushchilki*. [Theoretical studies of productivity of the roller crusher]. *Agropanorama*. 2008;(2):45-48. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/1263>
18. Dayneko V. A., Prishchepova E. M. *Matematicheskoe modelirovaniye moshchnosti val'tsovoy plyushchilki zerna*. [Mathematical modeling of power of roller crusher of grain]. *Ukrainian Food Journal*. 2012; (3):40-49. URL: <http://www.ufj.ho.ua/>

19. Dayneko V. A., Prishchepova E. M. *Teoreticheskoe obosnovanie proizvoditel'nosti val'tsovoy plyushchilki-izmel'chitelya*. [Theoretical justification of the productivity of the roller crusher-grinder]. *Agropanorama*. 2012;(2):14-28. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/7245>

20. Shilo I. N., Vorob'ev N. A., Prishchepova E. M. *K obosnovaniyu moshchnosti privoda val'tsovykh plyushchilki*. [To substantiate the drive power of the crusher rollers]. *Agropanorama*. 2008;(3):25-28. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/1280>

21. Dayneko V. A., Prishchepova E. M. *K voprosu povysheniya proizvoditel'nosti i snizheniya udel'nykh energozatrat val'tsovoy plyushchilki zerna*. [On the issue of increasing productivity and reducing specific energy consumption of the grain roller crusher]. *Agropanorama*. 2013;(2):24-27. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/6398?mode=full>

22. Prishchepov M. A., Gurin V. V., Prishchepova E. M., Ivanov D. M. Control device for interconnected frequency-controlled asynchronous electric drives with electric energy recovery (options): patent on the image: patent Republic of Belarus, no. 21618, 2018.

URL: <https://ncip.by/upload/iblock/f5a/f5a1dfcb7efc24c148aeebb6b129fa29.pdf>

23. Prishchepov M. A., Gurin V. V., Prishchepova E. M., Ivanov D. M. Method for controlling interconnected electric drives with electric energy recovery: patent on the image: patent Republic of Belarus, no. 19919, 2016. Afitsyyny byul. Nats. tsentr intelektual. ulasnasti. 2016.

URL: <https://ncip.by/upload/iblock/7b1/7b122278043fa35fd69d4258c4cb09ee.pdf>

24. Dayneko V. A., Gurgendze I. I., Prishchepova E. M. *Obosnovanie tselevoy funktsii i kriteriya optimizatsii konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov sistemy elektroprivoda val'tsovykh plyushchilok-izmel'chiteley zerna*. [Substantiation of the target function and criterion for optimizing the design and technological parameters of the electric drive system of roller grain crusher-grinders]. *Agropanorama*. 2015;(4):30-35. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/4176>

25. Prishchepova E. M., Dayneko V. A. Method for controlling interconnected drives of roller grain crusher-grinders with electric energy recovery: patent Republic of Belarus, no. 21847, 2018.

URL: <https://ncip.by/upload/iblock/b43/b4369672f12b7716e201e2bcd49634a5.pdf>

Сведения об авторах

✉ **Прищепов Михаил Александрович**, доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры электрооборудования сельскохозяйственных предприятий УО «Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет», проспект Независимости, 99, г. Минск, Республика Беларусь, 220023,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5359-3861>, e-mail: pma.eshp@gmail.com

Дайнеко Владимир Александрович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электрооборудования сельскохозяйственных предприятий УО «Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет», проспект Независимости, 99, г. Минск, Республика Беларусь, 220023,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9612-079X>, e-mail: daineka49@gmail.com

Прищепова Елена Михайловна, старший преподаватель кафедры электрооборудования сельскохозяйственных предприятий УО «Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет», проспект Независимости, 99, г. Минск, Республика Беларусь, 220023, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5598-4807>, e-mail: pr.lena@tut.by

Information about the authors

✉ **Mikhail A. Pryshchepau**, DSc in Engineering, associate professor, professor at the Department of Electrical Equipment of Agricultural Enterprises, the Belarusian State Agrarian Technical University, 99 Nezavisimosti Avenue, Minsk, Republic of Belarus, 220023, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5359-3861>, e-mail: pma.eshp@gmail.com

Vladimir A. Daineka, PhD in Engineering, associate professor, head of the Department of Electrical Equipment of Agricultural Enterprises, the Belarusian State Agrarian Technical University, 99 Nezavisimosti Avenue, Minsk, Republic of Belarus, 220023, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9612-079X>, e-mail: daineka49@gmail.com

Alena M. Pryshchepava, senior lecturer, the Department of Electrical Equipment of Agricultural Enterprises, the Belarusian State Agrarian Technical University, 99 Nezavisimosti Avenue, Minsk, Republic of Belarus, 220023, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5598-4807>, e-mail: pr.lena@tut.by

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.199-210>

УДК 631.1

**Направления государственной поддержки технической и технологической модернизации молочного животноводства**

© 2020. В. Н. Суровцев, Е. Н. Паюрова ✉

ФГБНУ «Северо-Западный НИИ экономики и организации сельского хозяйства», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрены основные направления государственной поддержки технической и технологической модернизации аграрного сектора в России: льготные кредиты по ставке не выше 5 %, субсидирование части капитальных затрат (CAPEX) на строительство и модернизацию животноводческих комплексов и других проектов, поддержка обновления парка сельскохозяйственной техники. Выявлены их основные недостатки: ограниченное количество поддерживаемых проектов, недостаточные объемы и диспропорции в распределении лимитов средств поддержки между регионами и производителями, ограничения списка приобретаемой техники на льготных условиях по стране-производителю. Доказана высокая эффективность прямых инструментов поддержки непосредственно сельхозпроизводителей в форме субсидирования части затрат приобретения техники, оборудования и технологий с высокой инновационной составляющей.

Ключевые слова: агропродовольственная политика, льготные инвестиционные кредиты, капитальные затраты, лизинг, обновление парка сельскохозяйственной техники

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Северо-Западный НИИ экономики и организации сельского хозяйства» (тема № 0668-2019-0009).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Суровцев В. Н., Паюрова Е. Н. Направления государственной поддержки технической и технологической модернизации молочного животноводства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):199-210. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.199-210>

Поступила: 13.02.2020

Принята к публикации: 24.03.2020

Опубликована онлайн: 21.04.2020

Directions of state support for technical and technological modernization of dairy farming

© 2020. Vladimir N. Surovtsev, Elena N. Payurova ✉

Northwest Research Institute Economy and Organization of Agriculture, St. Petersburg – Pushkin, Russian Federation

The article discusses the main directions of state support for technical and technological modernization of the agricultural sector in Russia: soft loans at a rate of no more than 5 %, subsidizing part of the capital costs (CAPEX) for the construction and modernization of livestock complexes and other projects, supporting the renewal of the agricultural machinery park. There have been identified their main disadvantages: limited number of supported projects, insufficient volumes and imbalances in the distribution of limits of support funds between regions and manufacturers, restrictions on the list of purchased equipment on preferential terms in the producing country. High efficiency of direct support tools for agricultural producers in the form of subsidizing part of the costs for purchase machinery, equipment and technologies with a high innovative component has been proved.

Keywords: agri-food policy, preferential investment loans, capital costs, leasing, renewal of agricultural machinery

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Northwest Research Institute Economy and Organization of Agriculture (theme No. 0668- 2019 - 0009).

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

For citation: Surovtsev V. N., Payurova E. N. Directions of state support for technical and technological modernization of dairy farming. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):199-210. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.199-210>

Received: 13.02.2020

Accepted for publication: 24.03.2020

Published online: 21.04.2020

Темпы технического обновления в аграрном секторе России остаются недостаточными. По данным Национального доклада о реализации Госпрограммы в 2018 г.¹, для перехода к увеличению парка сельскохозяйственной техники и достижения расчетной обеспеченности в ближайшей перспективе сельскохозяйственным организациям необходимо ежегодно приобретать по 45 тыс. тракторов, 12 тыс. зерноуборочных и 2 тыс. кормоуборочных комбайнов. За последние 5 лет в среднем ежегодно приобреталось 10-14 тыс. тракторов, 5-6 тыс. зерноуборочных и 600-800 единиц кормоуборочных комбайнов, что, соответственно, в 4, 2 и 3 раза ниже необходимого уровня. Энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций в целом по России снизилась в 2018 г. по сравнению с 2013 г. на 11 %, с 167,1 до 148,6 л. с. Доля техники со сроком эксплуатации свыше 10 лет за период 2014-2018 гг. выросла по различным видам техники от 12 до 23 процентных пункта, в частности: по тракторам – с 61 до 73 %, зерноуборочным комбайнам – с 47 до 62 %, кормоуборочным комбайнам – с 42 до 65 %.

Существующие формы поддержки, несмотря на значительные объемы финансирования мероприятий, не обеспечивают отвечающим современным вызовам темпов технологической модернизации и повышения конкурентоспособности производства продукции отраслями сельского хозяйства, формируют диспропорции в темпах развития отраслей и сельской местности регионов России.

Недостатками существующих форм поддержки являются: единичные, наиболее крупные проекты, получают основную долю средств поддержки; недостаточные объемы финансирования по льготным субсидируемым кредитам ограничивают количество получателей, что приводит к необходимости «конкурсного отбора» проектов; ограничения по стране-производителю техники тормозит освоение сельскохозяйственными товаропроизводителями наиболее эффективных технологий мирового уровня – «технологий завтрашнего дня», освоение которых может гарантировать конкурентоспособный уровень издержек и качества на глобальном рынке сельскохозяйственной продукции, что крайне важно

для развития экспортного потенциала аграрного сектора. Так, например, в молочном животноводстве низкая доступность инструментов развития для большей части хозяйств, составляющих основу отрасли, не позволяет обеспечить рост объемов получения продукции темпами, компенсирующими снижение производства молока средними и мелкими хозяйствами, выбывающими из отрасли по причине углубления их технологического отставания от лидеров отрасли.

Недостаточная результативность поддержки инновационно-инвестиционного процесса аграрного сектора [1, 2, 3] повышает актуальность проведения подробных исследований эффективности различных форм поддержки в отраслях сельского хозяйства из федерального и региональных бюджетов с учетом региональной специфики. Разработка научно обоснованных рекомендаций по результатам исследований позволит исключить наметившуюся в последнее время непоследовательность изменений правил предоставления государственной поддержки, снижающих ее результативность при увеличении объемов финансирования. Недостатком действующей методики оценки поддержки является то, что эффективность форм и отдельных мероприятий оценивается по результатам хозяйств, реализовавших проекты модернизации и получающих субсидии. Однако за рамками оценки оказываются хозяйства, не получившие поддержку. Оценка эффективности мероприятий поддержки должна учитывать показатели «степень охвата мероприятия совокупностью предприятий отрасли» и равномерность распределения поддержки по регионам и хозяйствам.

Формы государственной поддержки, механизм которых основывается на их распределении в режиме «ручного управления», на конкурсной основе, когда ими могут воспользоваться лишь немногие субъекты хозяйственной деятельности, способствуют перераспределению усилий участников отрасли с поиска эффективных способов освоения инноваций, снижения издержек и повышения качества продукции на поиск возможностей попасть в ограниченный «список» получателей субсидий, то есть с «поиска инновационной ренты» – на «поиск политической ренты» [4].

¹Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2018 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/61d/61d430039b8863186a4fbb1f60fab1c6.pdf> (дата обращения: 01.11.2019).

Экспертное и научное сообщество сходятся во мнении о неэффективности поддержки инновационно-инвестиционного развития отраслей АПК из федерального бюджета [3, 5, 6, 7, 8], поиски изменений ведутся хаотично, без необходимой научной проработки. Сведения из научных исследований, публикаций в СМИ содержат разрозненные данные о темпах роста или снижения закупки техники по отдельным мероприятиям государственной поддержки [8, 9], а также необоснованные рекомендации увеличения объемов финансирования мероприятий без какой-нибудь оценки их эффективности [10, 11]. Эффективность мероприятий поддержки оценивается по реализованным проектам модернизации [2, 8], т. е. среди получателей субсидий, однако, за рамками оценки оказываются предприятия, не получившие поддержку, и соответственно эффективность мероприятий поддержки должна быть скорректирована на показатель «степень охвата мероприятия совокупностью предприятий отрасли».

Цель исследований – провести анализ состояния, процесса, источников технического обновления парка сельскохозяйственной техники. Оценка влияния на темпы технологического развития форм поддержки позволит выделить наиболее эффективные направления технической модернизации и корректировать механизм инновационно-инвестиционного развития отраслей АПК, повышая его результативность и эффективность.

Материал и методы. Основные методы исследования – анализ статистических данных, логических обобщений. Сопоставление процессов и выявление связей проводилось графическим методом. Информационной базой для анализа стали данные, публикуемые в Национальном докладе о ходе и результатах реализации Государственной программы², протоколов заседания Комиссии по отбору инвестиционных проектов³, перечней заемщиков, претендующих на получение льготных

краткосрочных и льготных инвестиционных кредитов, публикуемые на сайте Министерства сельского хозяйства России, а также сведения об использовании бюджетных средств в Ленинградской области за 2013-2018 гг.

Результаты и их обсуждение. Молочное скотоводство является отраслью аграрного производства, от которой во многом зависит устойчивость и равномерность развития сельских территорий на Северо-Западе и Европейском Северо-Востоке, Северном Нечерноземье России [12]. Однако основными действующими формами государственной поддержки инновационно-инвестиционного процесса в молочном животноводстве – льготными инвестиционными кредитами и САРЕХ, могут воспользоваться в основном крупнейшие производители, расположенные в регионах с высоким рентным потенциалом, где существуют объективные предпосылки экономически эффективно реализовывать проекты со значительным поголовьем коров на одной производственной площадке (1500-5000 тыс. голов). Конкурсное распределение субсидий на возмещение части затрат на строительство и модернизацию молочных комплексов приводит к значительным диспропорциям между производителями молока и регионами (рис. 1).

По данным Национального доклада, в 2018 г. в России было введено 164 новых объекта в молочном скотоводстве с объемом производства молока 290 тыс. тонн, что составляет 0,9 % от валового производства молока⁴. На основе данной пропорции можно сделать вывод, что на 61 проекте, отобранном к финансированию в 2018 г. по САРЕХ, произведено за год 106 тыс. т молока, или 0,3 % к объему его валового производства в 2018 г. Сложившиеся темпы ввода в производство новых животноводческих объектов способны лишь компенсировать снижение производства молока в хозяйствах населения, составившее в 2018 г. – 220,5 тыс. т.⁵

²Там же.

³Протокол заседания Комиссии по отбору инвестиционных проектов, направленных на создание и (или) модернизацию объектов АПК 17 декабря 2018 г. №ЕФ-17-48 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/7cb/7cb73133881368cfd0f5128e5f8eb3e7.pdf> (дата обращения: 10.01.2020); Протокол от 5 декабря 2019 г. № ДП-17/291 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/672/672f7f768661e5c96d7a10ff9ea96094.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).

⁴Национальный доклад [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/61d/61d430039b8863186a4fbb1f60fab1c6.pdf> (дата обращения: 01.11.2019).

⁵Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 01.11.2019).

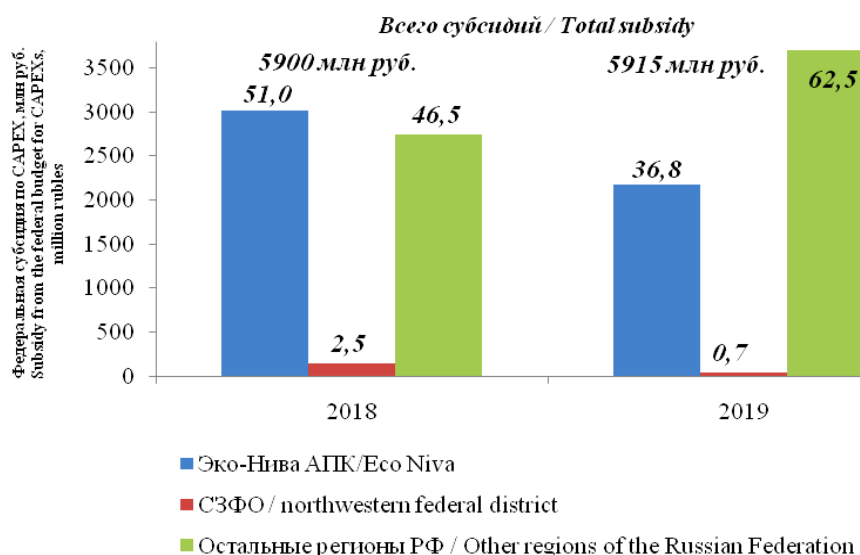


Рис. 1. Распределение субсидий на возмещение части затрат на строительство и модернизацию молочных комплексов в 2018 и 2019 гг.⁶, % /

Fig. 1. Distribution of subsidies for the compensation of part of the costs of construction and modernization of dairy complexes in 2018 and 2019⁶, %

Молочное скотоводство является отраслью, конкурирующей за ресурсы, в том числе и за средства государственной поддержки, с другими, более индустриальными отраслями АПК (рис. 2). Доля молочного скотоводства в субсидиях по льготным инвестиционным кредитам в 2017 г. составляла 17 %, в 2018 г. —

21 %, в 2019 г. снизилась до 18 %. В 2020 г. предусмотрено также снижение до 10 %. На строительство, реконструкцию и модернизацию молочных ферм в 2018 году приходилось только 40 % (рис. 3), т. е. всего 8 % от общей суммы на льготное инвестиционное кредитование всех отраслей аграрного сектора.

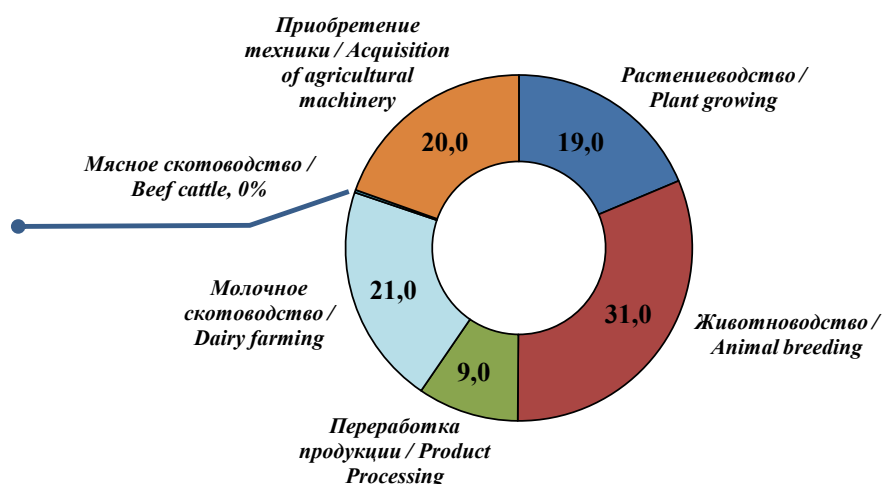


Рис. 2. Структура субсидий по льготным инвестиционным кредитам в России в 2018 г., %, ⁷/

Fig. 2. The structure of subsidies for preferential investment loans in Russia in 2018, %, ⁷

⁶Протокол от 17 декабря 2018 г. №ЕФ-17-48 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/7eb/7eb73133881368cfd0f5128e5f8eb3e7.pdf> (дата обращения: 10.01.2020); Протокол от 5 декабря 2019 г. № ДП-17/291 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/672/672f7f768661e5c96d7a10ff9ea96094.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).

⁷Перечень заемщиков, претендующих на получение льготных краткосрочных и льготных инвестиционных кредитов, по которым Минсельхозом России принято положительное решение о включении в реестр заемщиков с 1 февраля 2018 г. по 18 декабря 2018 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/activity/state-support/measures/preferential-credit/info-plan-lgotnogo-kreditovaniya-tekushchiy-ostatok-subsidii-perechen-odobrennykh-zayavok-maksimalnyy-raz/> (дата обращения: 01.11.2019).

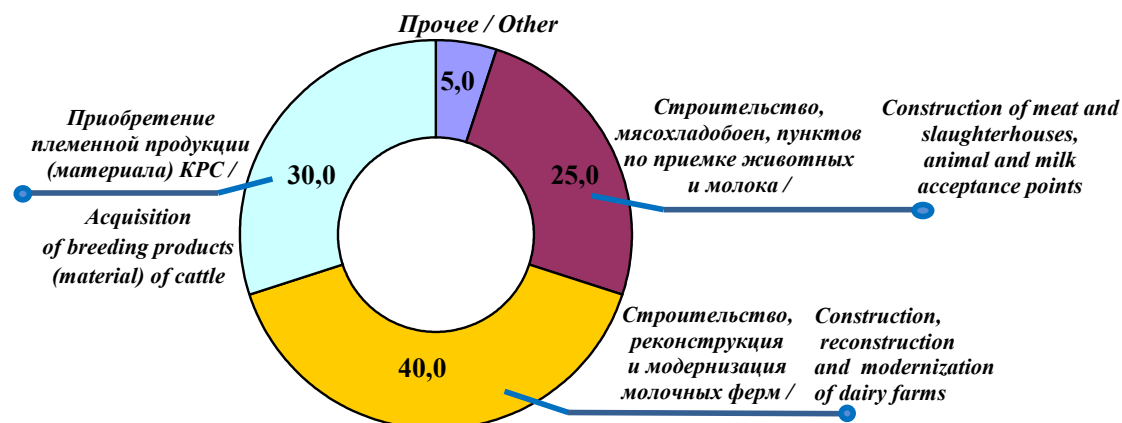


Рис. 3. Структура льготных инвестиционных кредитов по направлению «молочное скотоводство» в России в 2018 г., %⁸

Fig. 3. The structure of preferential investment loans in the direction of “dairy cattle breeding” in Russia in 2018, %⁸

Предполагается не только относительное снижение доли молочного скотоводства в общем объеме льготных инвестиционных кредитов до 10 %, но и абсолютное снижение объема льготного субсидирования молочного скотоводства в 2020 г. (на 4 % относительно уровня 2019 г.), в то время как необходимы дополнительные объемы финансирования данной формы поддержки для коренной технологической модернизации отрасли. Доля новых инвестиционных кредитов составила в 2019 г. всего 7 % от общей суммы льготных кредитов на молочное скотоводство и будет снижаться в 2020 г. и последующие годы из-за роста объема ранее взятых кредитных обязательств в 2017-2019 гг.⁹ Поэтому, несмотря на значительные объемы финансирования по льготным кредитам и САРЕХ, ограниченное количество реализуемых проектов в молочном скотоводстве не позволяет увеличивать объемы производства необходимыми темпами для решения задач Продовольственной безопасности с учетом уменьшения объемов производства молока «выходящими» из отрасли хозяйствами-аутсайдерами и личными подсобными хозяйствами.

Важнейшей составляющей технологической модернизации аграрного производства является обновление парка сельскохозяйственной техники. Основными формами поддержки данного направления являются регио-

нальные программы и институты развития (АО «Росагролизинг» и АО «Россельхозбанк»), субсидии производителям техники на возмещение недополученных доходов в связи с реализацией техники сельскохозяйственным товаропроизводителям со скидкой в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2012 г. № 1432.

Перечисленные направления поддержки почти полностью обеспечили приобретение комбайнов (рис. 4), в основном в рамках программы поддержки производителей техники, большая доля средств которой в течение ряда лет достается заводу «Ростсельмаш».

В приобретении тракторов картина иная: господдержка производителей техники оказывает незначительное влияние – 12 %. Большая часть тракторов – 72 % приобретаются в том числе за счет региональных программ по субсидированию части затрат на приобретение техники, а также кредитов, выданных кредитными организациями помимо АО «Россельхозбанк».

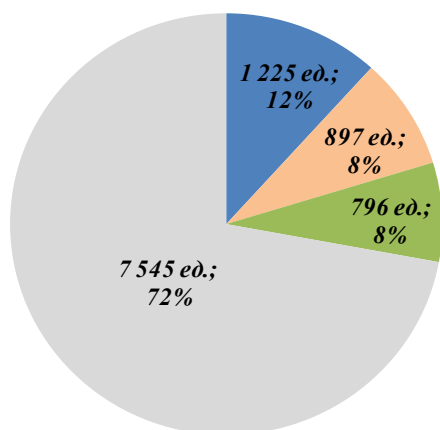
В 2018 году в 63 субъектах Российской Федерации действовали региональные программы, предусматривавшие компенсацию части затрат на приобретение сельскохозяйственной техники и оборудования с минимальными ограничениями по стране их происхождения, с общим объемом финансирования из региональных бюджетов 11,3 млрд рублей (рис. 5).

⁸Презентация Анатолия Куценко «По вопросу реализации механизма льготного кредитования МФХ в 2018 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа:

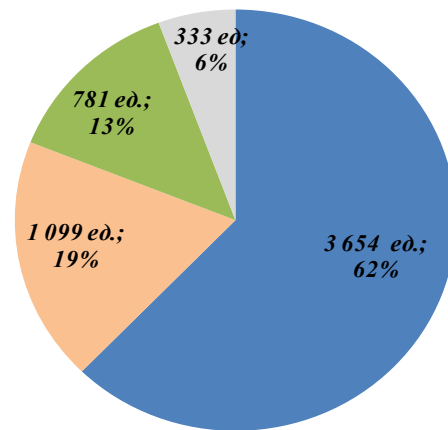
<http://mcx.ru/upload/iblock/121/1215db2914dbe070ea2426a2af26605c.pdf> (дата обращения: 01.11.2019).

⁹План льготного кредитования заемщиков на 2020 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/52b/52b2f4014ba0178a10ac985170cfbdc1.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).

Тракторы приобретено всего 10463 ед. /
Tractors purchased in total 10463 units



Комбайны. Приобретено всего 5867 ед. /
Harvesters. Purchased a total of 5867 units



- Программа поддержки производителей техники / Manufacturers Support Program
- Поставки Росагролизинг / Supplies Rosagroleasing
- Кредиты РСХБ на приобретение техники / Agricultural Bank loans for purchase of agricultural machinery
- Другие источники / Other sources

Рис. 4. Количество и доля основных видов техники, приобретенных в АПК России с различными формами государственной поддержки в 2018 г.¹⁰ /

Fig. 4. The number and proportion of the main types of equipment purchased in the agro-industrial complex of Russia with various forms of state support in 2018,¹⁰

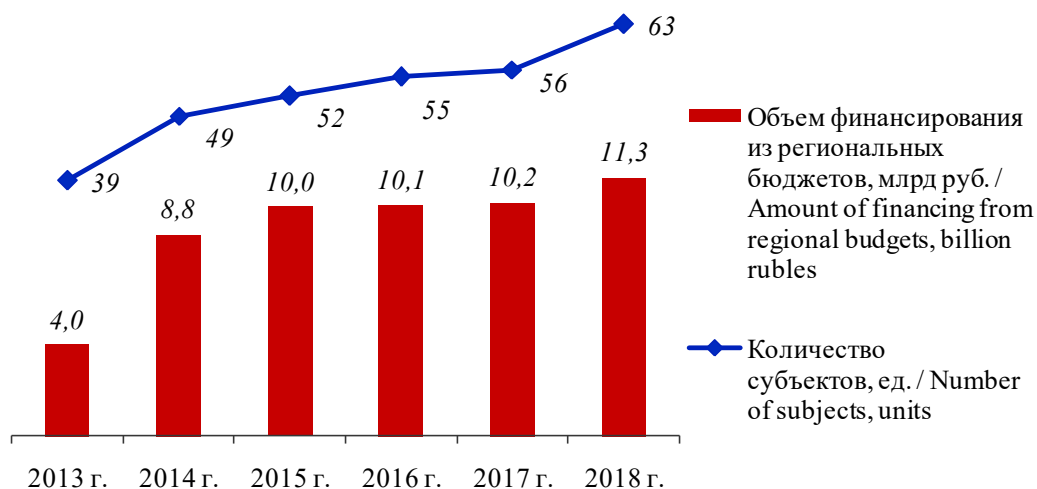


Рис. 5. Объемы финансирования и количество субъектов РФ, реализующих региональные программы субсидирования части затрат на приобретение техники и технологий¹¹ /

Fig. 5. Volumes of financing and the number of subjects of the Russian Federation implementing regional programs of subsidizing part of the cost for purchase of equipment and technologies¹¹

Количество субъектов и объем финансирования ежегодно растут, что свидетельствует о высокой эффективности прямых инструментов поддержки, оказывающих существенное

влияние на темпы обновления техники, а также косвенно говорит о низкой степени доступности федеральных инструментов поддержки технической и технологической модернизации.

¹⁰Национальный доклад ... [Электронный ресурс]. Режим доступа:

http://mex.ru/upload/iblock/61d/61d430039_b8863186a4fbb1f60fab1c6.pdf (дата обращения: 01.11.2019).

¹¹Там же.

Если экстраполировать параметры региональной программы Ленинградской области, где объем субсидий 377 млн руб. в 2018 г. позволил сельскохозяйственным товаропроизводителям приобрести при региональной поддержке 400 единиц техники, из них 99 тракторов, то объем приобретения тракторов в 63 субъектах РФ мог составить 3 тыс. ед., или 29 % от общего количества поставленных в 2018 г. аграрным производителям тракторов.

Льготные кредиты на приобретение техники предоставляются на покупку отечественной техники по утвержденному списку, а также иностранных моделей, не имеющих отечественных аналогов. В 2017 г. сельхозпроизводители за счет льготных кредитов приобрели более 8,6 тыс. ед. сельскохозяйственной техники, в том числе 1268 тракторов, 882 комбайна, 5101 единицу оборудования [13]. Если предположить, что объемы приобретения тракторов за счет льготных кредитов в 2018 г. не ниже предыдущего периода, то они составили бы около 12 % в общем количестве приобретенных тракторов сельхозпредприятиями.

Таким образом, долю приобретенных тракторов сельскохозяйственными организациями в 2018 г. за счет поддержки можно оценить в пределах 65-70 %, которая могла бы быть больше, если бы не ряд ограничений, в том числе по стране-производителю техники. Оставшееся количество тракторов приобретено за счет собственных средств сельскохозяйственных организаций, в том числе с привлечением кредитов по коммерческой ставке.

Программа поддержки производителей техники по поручению Премьер-министра в конце 2019 года была сохранена на ближайшие три года (2020-2022 гг.) с объемом финансирования 8 млрд рублей в год. По мнению президента ассоциации «Росспецмаш», данные объемы недостаточны для сохранения скидки аграриям 15 %. За годы реализации программы (2013-2018 гг.) предприятия сельхозмашиностроения получили 44 млрд руб. субсидий на поддержание скидки с цены для сельхозтоваропроизводителей, однако действующие механизмы контроля издержек производителей несовершенны, что тормозит рост спроса на технику по данной программе.

С 2020 года начинает действовать новый механизм господдержки через субсидирование

лизинговых операций. Опыт субсидирования банков, предоставляющих аграрному сектору льготные кредиты, Министерство сельского хозяйства РФ предлагает распространить на «Росагролизинг», предоставляя компании субсидию, компенсирующую недополученные доходы от заключения сделок на льготных условиях (по ставке не более 5 %).

Таким образом, современная система поддержки инновационно-инвестиционного процесса в аграрной сфере базируется на не прямых формах поддержки сельхозпроизводителей, т. е. на компенсации недополученных доходов производителей техники и отобранных государством финансовых структур, лизинговых и кредитных компаний. В то же время, анализ результатов региональной поддержки непосредственно сельхозпроизводителей, реализуемой в 62 регионах России, в форме компенсации части затрат на приобретение техники и оборудования с высокой инновационной составляющей, доказывает более высокую результативность и эффективность прямых инструментов поддержки. Данная форма поддержки позволяет повысить темпы модернизации отраслей аграрного сектора, обеспечить прозрачность контроля при широком охвате производителей вне зависимости от форм собственности и размеров предприятий. Минимальные ограничения по стране-производителю, в отличие от субсидирования отечественных машиностроителей, обеспечивают высокие темпы обновления парка высокопроизводительными и ресурсосберегающими видами техники и оборудования. Например, в Ленинградской области, при уровне софинансирования затрат из регионального бюджета 25-30 % общий объем инвестиций за 2013-2018 гг. составил 7,8 млрд руб., из них 74 % было направлено на модернизацию кормопроизводства – на сегодня критического фактора в производственно-хозяйственной цепочке производства молока в регионе. Всего было приобретено 3437 ед. техники, из них 674 трактора, 186 комбайнов¹². В 2012 г. каждый третий комбайн, трактор или сельхозмашина в Ленинградской области были приобретены с участием региональной поддержки, в 2014 г. – больше половины, с 2016 г. – более 80 %.

¹²Господдержка. Сведения об использовании бюджетных средств в 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 гг. Сайт Комитета по АПК и РХК Ленинградской области [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://agroprom.lenobl.ru/gos/fin/fin2011/analinfo> (дата обращения: 01.11.2019).

Так, в 2018 г. сельхозпроизводителями Ленинградской области было приобретено 118 тракторов, в том числе 99 за счет прямых региональных субсидий, 10 зерноуборочных и 20 кормоуборочных комбайнов на 100 % за счет региональной поддержки. Доля импортной техники, приобретенной в 2018 г., составила в среднем 61 %, в частности тракторов – 59 %, зерноуборочных комбайнов – 50 %, кормоуборочных – 91 %.

Исторически активность регионов Северо-Запада России в приобретении техники по лизингу низкая, их доля в общероссийских объемах не превышает 2,0-2,5 %¹³. Например, доля Ленинградской области в общем объеме приобретения техники по лизингу в Российской Федерации не превышает 0,4 %, и составляет 15-25 единиц всех видов техники в год.

Воспользоваться новыми инструментами поддержки инновационно-инвестиционного развития сельскохозяйственным производителям на Северо-Западе России оказалось еще сложнее, чем ранее действующими. В 2018 г. сельхозпроизводителям с развитым молочным животноводством Ленинградской области было одобрено к финансированию только 3 льготных инвестиционных кредита и 6 льготных кредитов на приобретение техники¹⁴. В 2019 г. ситуация изменилась незначительно: в регионе было одобрено 5 инвестиционных кредитов на строительство и 9 кредитов на приобретение техники.

По направлению на возмещение части прямых понесенных затрат на создание и модернизацию объектов агропромышленного комплекса, а также на приобретение техники и оборудования (САРЕХ) за весь период реализации данной формы поддержки с 2017 г. было одобрено всего три проекта в молочном скотоводстве и два в овощеводстве защищенного грунта¹⁵.

Предприятия с развитым молочным скотоводством, осуществляющие технологическое обновление отрасли, оказывают основное влияние на развитие сельских территорий в Ленинградской области. Средние по размеру

молочного стада и многие относительно крупные (до 1500 коров) хозяйства в основном получают поддержку в форме прямых региональных субсидий на приобретение техники и оборудования, что создает им возможность реализовывать модели эволюционного развития, перманентной модернизации и поэтапного ввода новых мощностей. Анализ совокупности получателей субсидий показал, что 29 из 85 сельскохозяйственных организаций с развитым молочным животноводством, т. е. 34 %, в течение последних 10 лет не имели возможности получать субсидии по кредитам, но получали субсидии на технику. Охват данной формой поддержки сельскохозяйственных организаций, производящих молоко в регионе (всего 97 компаний), за период за 2013-2018 гг. составил 88 %. Приобретение новой техники, комплекса машин и оборудования с высокой инновационной составляющей позволило всем 85 получателям реализовать новые проекты. Из них ежегодно 3-4 года подряд воспользовались этой формой поддержки 65 % предприятий молочной специализации, что свидетельствует о низких административных и финансовых «барьерах входа» и широких возможностях воспользоваться данным видом субсидирования средним по размерам производства хозяйствам (рис. 6).

Субсидии по инвестиционным кредитам, в силу специфики инструмента поддержки – продолжительного срока льготного кредитования 5-8 лет, в некоторых случаях 10-15 лет, получает в основном ограниченный круг хозяйств, поэтому доля проектов, по которым перечислялись субсидии 3-4 года подряд составила 55 % (рис. 6). При этом 38 % предприятий молочной специализации в течение четырех лет не смогли воспользоваться данной формой поддержки инвестиционного процесса. Из 60 получателей субсидий по инвестиционным кредитам в молочном животноводстве в 2014-2016 г. только 5 смогли получить новые инвестиционные кредиты (рис. 7).

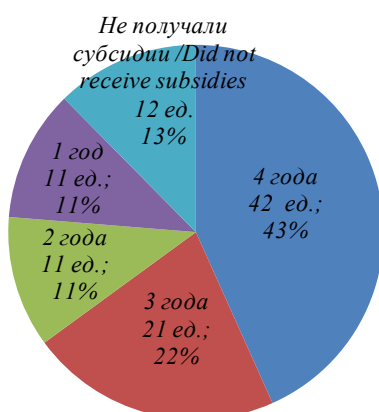
¹³ Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 01.11.2019).

¹⁴ Перечень заемщиков ... [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/activity/state-support/measures/preferential-credit/info-plan-lgotnogo-kreditovaniya-tekushchiy-ostatok-subsidii-perechen-odobrennykh-zayavok-maksimalnyy-raz/> (дата обращения: 10.01.2020).

¹⁵ Протокол заседания Комиссии по отбору инвестиционных проектов, направленных на создание и (или) модернизацию объектов АПК 17 декабря 2018 г. №ЕФ-17-48 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/7cb/7cb73133881368cfd0f5128e5f8eb3e7.pdf> (дата обращения: 10.01.2020); Протокол от 5 декабря 2019 г. № ДП-17/291 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcx.ru/upload/iblock/672/672f7f768661e5c96d7a10ff9ea96094.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).

Прямые субсидии на технику /
Direct subsidies for machinery



Субсидированный инвестиционный кредит / Subsidized investment loan



Рис. 6. Распределение прямых субсидий и субсидий по инвестиционным кредитам среди предприятий молочной специализации по годам пользования в Ленинградской области за 2013-2016 гг. Расчеты автора на основе источника¹⁶ /

Fig. 6. Distribution of direct subsidies and subsidies for investment loans among dairy enterprises by years of use in the Leningrad Region for 2013-2016. Author's calculations based on the source¹⁶

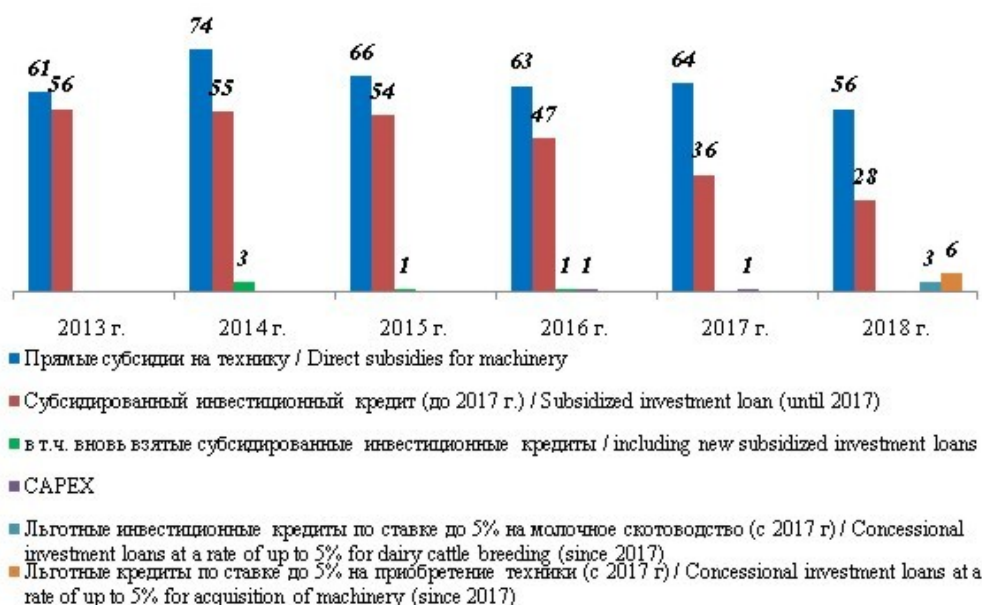


Рис. 7. Количество получателей основных форм поддержки технической и технологической модернизации среди предприятий молочной специализации в Ленинградской области в 2013-2018 гг., ед. Расчеты автора на основе источника¹⁷ /

Fig. 7. The number of recipients of the main forms of support for technical and technological modernization among dairy enterprises in the Leningrad Region in 2013-2018, units. Author's calculations based on the source¹⁷

Таким образом, субсидии по инвестиционным кредитам не обеспечивают поддержку непрерывного процесса модернизации большинству участников отрасли. Новые инструменты поддержки (льготные 5% кредиты, CAPEX), по сравнению с существовавшими ранее формами поддержки (субсидиро-

вание процентной ставки), являются еще более выборочными, что ограничивает возможности средних по размеру сельскохозяйственных товаропроизводителей воспользоваться государственной поддержкой инновационно-инвестиционного развития аграрного сектора.

¹⁶ Господдержка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agroprom.lenobl.ru/gos/fin/fin2011/analinfo> (дата обращения: 01.11.2019).

¹⁷ Там же.

Отрасль молочное животноводство образует множество сельскохозяйственных товаропроизводителей, рассредоточенных по территории регионов. Поэтому единичные проекты в молочном животноводстве не способны значительно увеличить объемы производства, восполнить объем производства «выходящих» из отрасли предприятий-аутсайдеров и обеспечить рост отраслевого предложения. Так, в 2018 г. 6 молочных хозяйств Ленинградской области осуществили проекты по модернизации производства, совокупный объем затрат которых составил 1,4 млрд руб. При этом объем производства молока в этих хозяйствах не превышает 8,5 % от валового производства молока в регионе.

На Северо-Западе и Европейском Северо-Востоке России, учитывая региональную специфику молочного скотоводства, большое количество самостоятельных средних по размеру производства хозяйств с высокопродуктивными стадами, в дополнение к инструменту прямых субсидий на приобретение техники, целесообразно использовать хорошо зарекомендовавшие себя формы поддержки модернизации действующих и строительства средних по размеру ферм, разработанные Правительством Московской области:

1) субсидирование капитальных затрат на строительство коровников (при условии ввода в эксплуатацию) в зависимости от поголовья – от 20 до 35 %;

2) реконструкция действующих молочно-товарных ферм – 50 % компенсация затрат на оборудование¹⁸.

Введение данных форм поддержки в молочном животноводстве в регионах Северного Нечерноземья позволит значительно ускорить модернизацию отрасли, повысить инвестиционную активность и эффективность реализации производственного потенциала средними по размеру самостоятельными хозяйствами. Существенный рост числа хозяйств, последовательно и эффективно осуществляющих поэтапную комплексную модернизацию молочного животноводства, будет способствовать ускорению темпов развития сельской местности.

Учитывая явные преимущества системы прямого субсидирования приобретения техники и оборудования сельскохозяйственными товаропроизводителями, вне зависимости от форм хозяйствования и размеров производства, целесообразно распространить данную форму поддержки и на федеральный уровень, так как она, как никакая другая, поддерживает производственно-экономическое развитие сельских территорий. Поддержка технологической модернизации повышает эффективность и других видов субсидий по таким направлениям, как производство продукции, несвязанная поддержка в растениеводстве, мелиорация, страхование в растениеводстве, поддержка производства семян, племенного дела и т. д., т. к. современные виды техники и оборудования, обладающие высокой инновационной составляющей, способствуют существенному росту производительности всех видов ресурсов.

Таким образом, компенсацию части затрат на приобретение сельскохозяйственной техники и оборудования широким кругом сельскохозяйственных товаропроизводителей из федерального бюджета целесообразно рассматривать как приоритетную форму поддержки, как эффективный инструмент организационно-экономического механизма инновационно-инвестиционного развития отраслей АПК.

Выводы. Структурообразующая роль молочного скотоводства на Северо-Западе России, как и во всем Северном Нечерноземье, наметившееся отставание молочной отрасли по темпам инвестиций и освоению инноваций, по сравнению с более индустриальными отраслями аграрного сектора, определяют необходимость совершенствования мер государственной поддержки инновационно-инвестиционного развития молочного животноводства.

Целесообразно значительно увеличить лимиты и зафиксировать долю выделяемых средств по льготным кредитам на отрасль молочного скотоводства в соответствии со стоящими перед отраслью задачами ускорения технологической модернизации. На 2020 г. на развитие молочного животноводства запланировано только 10 % от всех инвестиционных кредитов.

¹⁸Меры государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей Московской области, 2019 г. Министерство сельского хозяйства продовольствия Московской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://invest.mosreg.ru/upload/media/default/0001/01/40dd7da0f283ec1e37ef2407c829effef4947be.pdf> (дата обращения: 11.01.2020).

Для устойчивого развития молочного скотоводства с относительно невысоким рентным потенциалом необходимо обеспечить более равномерное распределение лимитов льготных инвестиционных кредитов по регионам с учетом объемов производимого молока.

С целью повышения темпов технологической модернизации средних и небольших по объемам производителей и переработчиков молока необходима разработка форм поддержки на федеральном и региональном уровнях, минимизирующих потребность в «ручном управлении», в конкурсном

распределении средств на основе простой и работоспособной системы порядков и правил, расширяющих возможности «заявительного» участия сельскохозяйственных товаропроизводителей в программах поддержки. Субсидирование части затрат на приобретение сельскохозяйственной техники и оборудования сельскохозяйственными товаропроизводителями, вне зависимости от форм хозяйствования и размеров производства, целесообразно рассматривать как приоритетную форму поддержки на федеральном и региональном уровнях.

Список литературы

1. Узун В. Я., Шагайда Н. И. Оценка влияния институциональных и структурных изменений на развитие аграрного сектора России. Вопросы экономики. 2019;(4):39-58. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-39-58>
2. Светлов Н. М., Янбых Р. Г., Логинова Д. А. О неоднородности эффектов господдержки сельского хозяйства. Вопросы экономики. 2019;(4):59-73. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-59-73>
3. Эффективность льготного кредитования сельхозтоваропроизводителей агропромышленного комплекса (на основе опроса). М., 2019. 27 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nifi.ru/images/FILES/Reports/Ligot_kreditovanie_opros.pdf (дата обращения: 15.01.2020).
4. Ойкен В. Основы национальной экономики. Пер. с нем. М.: Экономика, 1996. 351 с. Режим доступа: <https://mysocrat.com/book-card/17895-osnovy-nacionalnoy-ehkonomii/>
5. Ушачев И. Г., Серков А. Ф., Маслова В. В., Чекалин В. С. Актуальные направления совершенствования аграрной политики России. АПК: Экономика, управление. 2019;(3):4-16. DOI: <https://doi.org/10.33305/193-4>
6. Полухин А. А., Семёнова Е. И., Новоселов Э. А. Направления совершенствования организационно-экономического механизма материально-технического обеспечения отраслей животноводства в контексте импортозамещения на ресурсных рынках. Экономика сельского хозяйства России. 2018. (11): 79-83. DOI: <https://doi.org/10.32651/2070-0288-2018-11-79-83>
7. Дудник А. В., Неганова В. П., Корюкина Н. В. Современные проблемы совершенствования государственной поддержки АПК. Проблемы современной экономики. 2017;(1):197-202. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-problemy-sovershenstvovaniya-gosudarstvennoy-podderzhki-apk/viewer>
8. Нечаев В., Санду И., Михайлушкин П., Закарчевский О. Методика оценки инвестиций в технико-технологическую модернизацию сельскохозяйственного производства. АПК: Экономика, управление. 2019; (3): 47-55. DOI: <https://doi.org/10.33305/193-47>
9. Алексеев К. И., Новоселов Э. А., Порфиоров П. А. Кредитование приобретения сельскохозяйственной техники и оборудования для животноводства как мера поддержки технической и технологической модернизации отрасли. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2018; (4): 59-70. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35252019>
10. Алексеев К. И., Новоселов Э. А. Государственная поддержка технической и технологической модернизации кормовой базы животноводства. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2018. (2): 55-66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35249479>
11. Исаева О. В. Техническая модернизация аграрного сектора России: современное состояние и пути обеспечения. Инновации в сельском хозяйстве. 2019. (2): 109-115. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38583654&>
12. Костяев А. И., Никонов А. Г. Развитие аграрного сектора и сельских территорий Северо-Запада в условиях политики импортозамещения. Молочнохозяйственный вестник. 2017;(4(28)):182-196. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2017-00059>

References

1. Uzun V. Ya., Shagayda N. I. *Otsenka vliyaniya institutsional'nykh i strukturnykh izmeneniy na razvitiye agrarnogo sektora Rossii*. [Evaluation of the impact of institutional and structural changes on the development of the Russian agricultural sector]. *Voprosy ekonomiki*. 2019;(4):39-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-39-58>
2. Svetlov N. M., Yanbykh R. G., Loginova D. A. *O neodnorodnosti effektivov gospodderzhki sel'skogo khozyaystva*. [On the diversity of the effects of the state support for agriculture]. *Voprosy ekonomiki*. 2019;(4):59-73. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-59-73>

3. *Effektivnost' l'gotnogo kreditovaniya sel'khozovoproizvoditeley agropromyshlennogo kompleksa (na osnove oprosa)*. [Efficiency of preferential lending to agricultural producers of the agro-industrial complex (based on a survey)]. Moscow, 2019. 27 p.

Available at: https://nifi.ru/images/FILES/Reports/Ligot_kreditovanie_opros.pdf (accessed: 15.01.2020).

4. Oyken V. *Osnovy natsional'noy ekonomii*. [The foundations of the national economy]. *Per. s nem.* Moscow: *Ekonomika*, 1996. 351 p. URL: <https://mysocrat.com/book-card/17895-osnovy-nacionalnoj-ehkonomii/>

5. Ushachev I. G., Serkov A. F., Maslova V. V., Chekalin V. S. *Aktual'nye napravleniya sovershenstvovaniya agrarnoy politiki Rossii*. [Relevant directions of improvement of agrarian policy of Russia]. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2019; (3): 4-16. (Un Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33305/193-4>

6. Polukhin A. A., Semenova E. I., Novoselov E. A. *Napravleniya sover-shenstvovaniya organizatsionno - ekonomicheskogo mekhanizma material'no-tekhnicheskogo obespecheniya otrasley zhivotnovodstva v kontekste importozameshcheniya na resursnykh rynkakh*. [The directions of improvement in organizational and economic mechanism of material support of the livestock production branches in the context of import substitution in the resource markets]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2018. (11): 79-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32651/2070-0288-2018-11-79-83>

7. Dudnik A. V., Neganova V. P., Koryukina N. V. *Sovremennyye problemy sovershenstvovaniya gosudarstvennoy podderzhki APK*. [Topical direction in the improvement of the state support to agro-industrial complex]. *Problemy sovremennoy ekonomiki = Problems of Modern Economics*. 2017;(1):197-202. Режим доступа: <https://cyber-leninka.ru/article/n/sovremennyye-problemy-sovershenstvovaniya-gosudarstvennoy-podderzhki-apk/viewer>

8. Nechaev V., Sandu I., Mikhaylushkin P., Zakarchevskiy O. *Metodika otsenki investitsiy v tekhniko-tehnologicheskuyu modernizatsiyu sel'skokho-zyaystvennogo proizvodstva*. [Technique of assessment of investments into technical and technological modernization of agricultural production]. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2019;(3): 47-55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33305/193-47>

9. Alekseev K. I., Novoselov E. A., Porfirov P. A. *Kreditovanie priobreteniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i oborudovaniya dlya zhivot-novodstva kak mera podderzhki tekhnicheskoy i tekhnologicheskoy modernizatsii otrasli*. [Crediting the purchase of agricultural machinery and equipment for livestock as a measure to support the technical and technological modernization of the industry]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2018;(4): 59-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35252019>

10. Alekseev K. I., Novoselov E. A. *Gosudarstvennaya podderzhka tekhnicheskoy i tekhnologicheskoy modernizatsii kormovoy bazy zhivotnovodstva*. [State support for technical and technological modernization of livestock feed resources]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2018; (2): 55-66. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35249479>

11. Isaeva O. V. *Tekhnicheskaya modernizatsiya agrarnogo sektora Rossii: sovremennoe sostoyanie i puti obespecheniya*. [Technical modernization of the agricultural sector in Russia: current state and ways to ensure]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. (2): 109-115. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38583654&>

12. Kostyaev A. I., Nikonov A. G. *Razvitie agrarnogo sektora i sel'skikh territoriy Severo-Zapada v usloviyakh politiki importozameshcheniya*. [Development of the Agrarian Sector and Rural Areas of Northwest in the Conditions of Import Substitution Policy]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2017;(4(28)):182-196. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2017-00059>

Сведения об авторах

Суровцев Владимир Николаевич, кандидат экон. наук, ВРИО директора ФГБНУ «Северо-Западный научно-исследовательский институт экономики и организации сельского хозяйства», ш. Подбельского д. 7, Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1803-7963>, e-mail: vnsurovtsev@gmail.com

✉ **Паюрова Елена Николаевна**, кандидат экон. наук, научный сотрудник ФГБНУ «Северо-Западный научно-исследовательский институт экономики и организации сельского хозяйства», ш. Подбельского д. 7, Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6756-5570>

Information about the authors

Vladimir N. Surovtsev, PhD in Economics, Acting Director, Northwest Research Institute Economy and Organization of Agriculture, highway Podbelsky d. 7, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1803-7963>, e-mail: vnsurovtsev@gmail.com

✉ **Elena N. Payurova**, PhD in Economics, researcher, Northwest Research Institute Economy and Organization of Agriculture, highway Podbelsky d. 7, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6756-5570>, e-mail: chasticova_lena@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

30 марта 1895 года была создана

Вятская земская сельскохозяйственная опытная станция

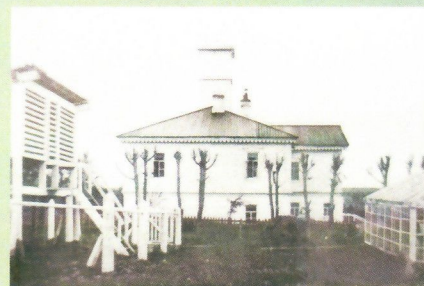
(ныне Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого)

Инициатива по организации станции исходила от Сергея Николаевича Косарева, заведующего Вятской фермой Губернского земства, кандидата сельского хозяйства. На III Губернском агрономическом съезде в 1893 г. его предложение было поддержано,



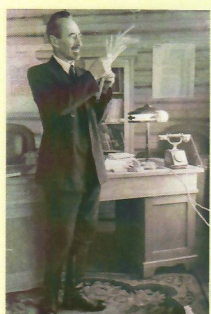
Косарев
Сергей Николаевич,
зав. опытной станции
в 1895-1907 гг.

и в 1895 г. Министерством земледелия и государственных имуществ Российской империи было удовлетворено ходатайство Губернского земства об организации Вятской сельскохозяйственной опытной станции и открыт кредит на ее содержание (2916 руб.). Штат станции определен в количестве 4 человек: заведующий, лаборант и двое рабочих.



Первая научная программа станции, разработанная С. Н. Косаревым, включала следующие вопросы:

- изучение и улучшение местных сортов зерновых культур (особое значение придавалось озимой ржи как наиболее урожайной и выносливой);
- выведение сортов ячменя с хорошими пивоваренными качествами;
- распространение в Вятской губернии тонкопленчатых сортов овса, гороха, картофеля для винокурения и получения крахмала, однолетних и многолетних трав для лугового травосеяния;
- изучение удобрений (торф, фосфорит, костная мука) и их воздействия на растения;
- сравнительное испытание пахотных орудий;
- метеорологические наблюдения во взаимосвязи с развитием растений.



Рудницкий
Николай Васильевич

За 125-летней историей становления и развития аграрной науки на Вятской земле – самоотверженность нескольких поколений ученых. К селекционерам опытной станции, заложившим научные основы селекции сельскохозяйственных культур, принадлежит Николай Васильевич Рудницкий – выдающийся ученый-селекционер, под руководством которого создано свыше 100 сортов зерновых, кормовых, плодово-ягодных, овощных и бахчевых культур, адаптированных к условиям северных территорий России.



Закладка экспериментального сада

Николай Васильевич с 1913 по 1953 год возглавлял селекционную работу на Вятской земле. Заветной мечтой Н. В. Рудницкого было создание крупного научного центра по селекции в зоне Северо-Востока.



Спустя 125 лет со дня основания Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого участвует в научном обеспечении сельскохозяйственного производства 40 российских регионов. Кадровый потенциал – более 300 человек, в том числе 2 академика РАН и 1 член-корреспондент РАН, 23 доктора и 79 кандидатов наук.

Достижения ученых Вятской земской сельскохозяйственной опытной станции оценены научным сообществом России. Российская академия сельскохозяйственных наук с 1997 по 2015 год присуждала Золотую медаль имени Н. В. Рудницкого за выдающиеся работы в области селекции и технологий возделывания сельскохозяйственных культур для условий северного земледелия. В 2019 году Российской академией наук учреждена премия имени Н. В. Рудницкого.