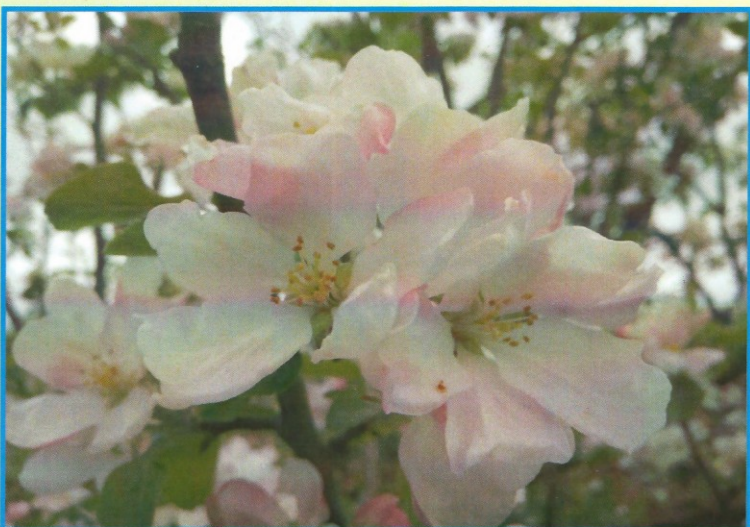
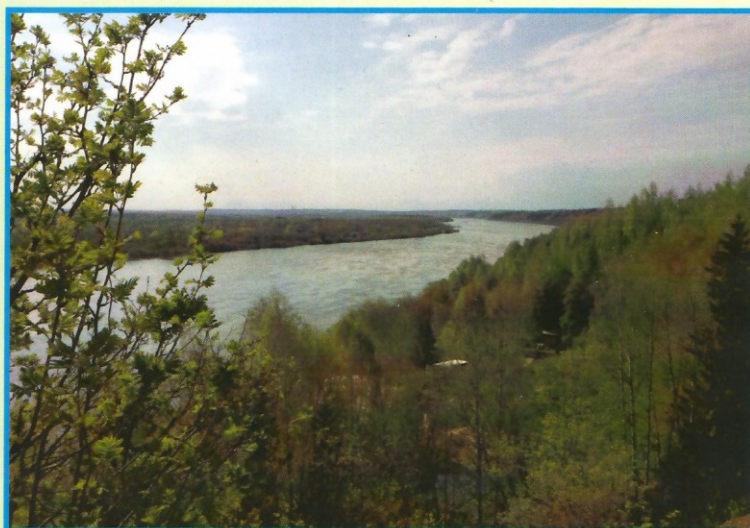


ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 21
№ 3
2020

Vol. 21
No. 3
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, № 3, 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/>;
ЭНЦХБ: [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
17.06.2020 г.

Дата выхода в свет
29.06.2020 г.

Формат 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 14,42
Тираж 100 экз. Заказ 12.
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

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович
Баранов Александр
Васильевич

Брандорф
Анна Зиновьевна
Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Козлова Людмила
Михайловна

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибяттулович

д.б.н., профессор, заслуженный ветеринарный врач РФ, Почетный работник
высшего профессионального образования РФ, Нижегородская 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 Вятского государственного университета, 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(3)

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. Dzhavadov | 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
17.06.2020.

Date of exit to light
29.06.2020.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pccs. l. 14.42
Circulation 100 copies. Order 12.
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

Li Yu

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

Gubaidulla 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), associate professor, 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

ОБЗОРЫ

- Е. С. Федорова, О. И. Станишевская, Н. В. Дементьева*
Современное состояние и проблемы племенного птицеводства в России (обзор)..... 217
- В. И. Пахомов, С. В. Брагинцев, О. Н. Бахчевников, А. С. Алферов, Д. В. Рудой*
Технологии экструдирования кормов и продуктов питания, включающих биомассу насекомых (обзор)..... 233

РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Н. В. Кротова, Г. А. Баталова, Ren Changzhong, Г. П. Журавлева*
Вегетационный период и урожайность голозерного овса..... 245
- О. С. Амунова, Л. В. Волкова*
Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития..... 253
- А. М. Асатурова, Т. М. Сидорова, Н. С. Томашевич, Н. А. Жевнова, А. И. Хомяк, А. Е. Козицын, В. М. Дубяга, М. Д. Павлова, Н. М. Сидоров, В. В. Аллахвердян*
Изучение антагонистических и ростстимулирующих свойств штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания эффективных биофунгицидов..... 263
- А. В. Алабушев, В. В. Ковтунов, П. И. Костылев, Н. А. Ковтунова, Н. С. Кравченко*
Особенности наследования лизина у гибридов второго поколения зернового сорго..... 273
- А. Г. Тулинов, А. Ю. Лобанов*
Изучение нового сорта картофеля Вычегодский по комплексу хозяйственно ценных признаков..... 283

ПЕРЕРАБОТКА

- Н. К. Лаптева, Л. В. Митькиных*
Хлеб ржано-пшеничный «Знатный»: пищевая ценность..... 293

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

- Ю. И. Митрофанов, О. Н. Анциферова*
Гребнистый способ посева зерновых культур на осушаемых землях..... 301

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

- Д. В. Варнаков, С. А. Симачков, В. В. Варнаков*
Моделирование оптимального компонентного состава биодизельного топлива..... 313
- В. А. Сысуев, С. Л. Дёмин, Д. А. Черемисинов, М. С. Доронин*
Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева..... 321

ХРОНИКА

- Мордовскому НИИСХ – 90 лет..... 332
- Памяти Владимира Георгиевича Сафонова..... 334

CONTENTS

REVIEWS

- Elena S. Fedorova, Olga I. Stanishevskaya, Natalia V. Dementieva*
Current state and problems of poultry breeding in Russia (review)..... 217
- Viktor I. Pakhomov, Sergey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov, Aleksander S. Alferov, Dmitri V. Rudoy*
Extrusion technologies of feed and food including biomass of insects (review)..... 233

PLANT GROWING

- Nadezhda V. Krotova, Galina A. Batalova, Ren Changzhong, Galina P. Zhuravleva*
Growing season and productivity of naked oats..... 245
- Oksana S. Amunova, Lyudmila V. Volkova*
Genetic and statistical analysis of the combining ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development..... 253
- Anzhela M. Asaturova, Tatyana M. Sidorova, Natalia S. Tomashevich, Natalia A. Zhevnova, Anna I. Khomyak, Aleksandr E. Kozitsyn, Valentina M. Dubyaga, Marina D. Pavlova, Nikita M. Sidorov, Valeria V. Allakhverdyan*
The study of the antagonistic and growth-stimulating characteristics of *Bacillus subtilis* strains, promising for the development of the effective biofungicides..... 263
- Andrey V. Alabushev, Vladimir V. Kovtunov, Pavel I. Kostylev, Nataliya A. Kovtunova, Nina S. Kravchenko*
Features of lysine inheritance in grain sorghum hybrids of the second generation..... 273
- Aleksei G. Tulinov, Aleksander Yu. Lobanov*
The study of a new potato variety Vychegodsky according to a set of economically valuable traits..... 283

PROCESSING

- Nina K. Lapteva, Lidiya V. Mitkinykh*
Mixed rye-wheat bread «Znatny»: nutritional value..... 293

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Yuri. I. Mitrofanov, Olga N. Antsiferova*
Ridge method of sowing crops on drained lands..... 301

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Dmitry V. Varnakov, Sergey A. Simachkov, Valery V. Varnakov*
Modeling of the optimal component composition of biodiesel fuel..... 313
- Vasiliy A. Sysuev, Sergey L. Demshin, Dmitriy A. Cheremisinov, Maxim S. Doronin*
Theoretical justification of the main parameters of the coulter group of the sod seeder for strip sowing..... 321

CHRONICLE

- Mordovia Research Agricultural Institute – 90 years old..... 332
- In memory of Vladimir Georgievich Safonov..... 334

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.217-232>

УДК 636.082.2/12:575.167



Современное состояние и проблемы племенного птицеводства в России (обзор)

© 2020. Е. С. Федорова✉, О. И. Станишевская, Н. В. Дементьева

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Российская Федерация

Современное птицеводство в России является одной из самых динамично развивающихся отраслей сельского хозяйства, но благополучие отрасли почти полностью зависит от поставок племенного материала из-за рубежа. В России практически отсутствует своя племенная база как в яичных, так и в мясных промышленных кроссах кур. Большая часть отечественных кроссов, занимавших лидирующие позиции в российском птицеводстве, в настоящее время утрачены. Более 90 % племенной птицы промышленных линий в России импортируется. Зарубежные селекционно-генетические компании объединяются в транснациональные холдинги, занимающиеся мультивидовым разведением сельскохозяйственных животных, что позволяет им не зависеть от конъюнктуры рынка в отрасли. Обратная сторона такой консолидации в мировом масштабе – снижение генетического разнообразия птицы и высокий уровень инбридинга в промышленных линиях кур. В данных условиях имеется реальная биологическая опасность для существования этих линий из-за потенциальной восприимчивости «монокультур» к новым заболеваниям, что может уничтожить или же сильно навредить генетически однородной популяции. Любая система селекции основывается на оценке племенной ценности потенциальных родителей. Ее цель – получить по возможности наиболее точный прогноз генетической ценности особи и продуктивных качеств ее потомков. Этим условиям наиболее полно отвечает методология BLUP, в которую могут быть успешно интегрированы данные молекулярной генетики (SNP), что позволяет дополнить статистический анализ технологиями геномной селекции. Особенно актуально это для признаков, которые не могут быть измерены, или могут быть измерены лишь у одного пола, либо же только по окончании продуктивного периода. Включение в селекционные программы методов геномной селекции делает возможным значительно повысить прогресс селекции по основным хозяйственно полезным признакам кур. Главной задачей в российском племенном птицеводстве является создание собственной конкурентоспособной племенной базы, не уступающей западным кроссам по уровню продуктивности, для чего при поддержке государства необходимо, в первую очередь, создать селекционно-генетические центры, а также племенные репродукторные хозяйства; разработать и внедрить инновационные методы в области геномной селекции, программно-информационные системы, а также специализированные селекционные компьютерные программы для обработки и анализа мета-данных.

Ключевые слова: кроссы кур, селекция в птицеводстве, племенные заводы, селекционно-генетический центр, репродукторы, BLUP, SNP, геномная селекция

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема АААА-А18-118021590129-9).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Федорова Е. С., Станишевская О. И., Дементьева Н. В. Современное состояние и проблемы племенного птицеводства в России (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(3):217-232. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.217-232>

Поступила: 06.04.2020

Принята к публикации: 18.05.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Current state and problems of poultry breeding in Russia (review)

© 2020. Elena S. Fedorova✉, Olga I. Stanishevskaya, Natalia V. Dementieva

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry (RRIFAGB), Saint Petersburg, Pushkin, Russian Federation

Modern poultry breeding in Russia is one of the fastest growing sectors of agriculture, but the prosperity of the industry is almost entirely dependent on supplies of breeding material from abroad. Russia practically has no its own breeding base in both egg- and meat-type commercial crosses of chickens. Most of the domestic commercial crosses that had occupied leading positions in Russian poultry breeding have been lost now. More than 90 % of commercial lines of breeding stocks

in Russia are imported. Foreign poultry breeding companies merge into transnational holdings engaged in multi-species breeding of farm animals, which allows them not to depend on market conditions in the industry. The reverse side of such a consolidation on a global scale is a decrease in the genetic diversity of poultry and a high level of inbreeding in commercial chicken lines. In these circumstances, there is a real biological danger for the preservation of these lines due to the potential susceptibility of "monocultures" to new diseases, which can eliminate the genetically homogeneous population. Any selection system is based on an assessment of the breeding value of potential parents. Its purpose is to obtain, as far as possible, the most accurate forecast of the genetic value of an individual and the productive qualities of its progeny. These requirements are optimally met by the BLUP methodology, in which molecular genetics (SNP) data can be successfully integrated, which allows supplementing the statistical analysis with genomic selection technologies. This is especially true for traits that cannot be measured, or can only be measured in one sex, or only at the end of the productive period. The inclusion of genomic selection methods in breeding programs makes it possible significantly increase the selection efficiency for the main economical traits of chickens. The main task in the Russian breeding poultry industry is the creation of its own competitive breeding base, not inferior to Western commercial crosses in terms of productivity. To create poultry breeding centers and grandparents/parents-breeding farms the state support is needed. It is also necessary to develop and implement innovative methods in the field of genomic selection, as well as software and information systems and specialized selection computer programs for processing and analyzing meta-data.

Keywords: chicken crosses, selection in poultry breeding, breeding center, grandparent stock, parent stock, BLUP, SNP, genomic selection

Acknowledgment: the research was carried out within the state assignment of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry (theme No. AAAA-A18-118021590129-9).

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

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

For citations: Fedorova E. S., Stanishvskaya O. I., Dementyeva N. V. Current state and problems of poultry breeding in Russia (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):217-232. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.217-232>

Received: 06.04.2020

Accepted for publication: 18.05.2020

Published online: 23.06.2020

Несмотря на то, что птицеводство является одной из самых быстро развивающихся и наукоемких отраслей сельского хозяйства, в России практически отсутствует собственная племенная база как в яичных, так и в мясных промышленных кроссах кур. Большая часть отечественных кроссов кур, занимавших лидирующие позиции в российском птицеводстве, в настоящее время или находятся в крайне малочисленном количестве («Смена» – по мясной птице и «Родонит» – по яичной), или утрачены («Барос-123», «Конкурент 3», «Сибиряк», «СК Русь 4», «СК Русь 6», «УК Кубань 123», «УК Кубань 456», «Прогресс», «Птичное», «Маркс 23», «Омский белый аутоксексный» и т. д.) [1, 2, 3]. Практически прекратили свою деятельность (подавляющее большинство изменили форму собственности, перейдя в частные руки) государственные племенные птицеводческие предприятия, поскольку не все птицеводческие предприятия смогли «выжить» в условиях экономического кризиса, не получая достаточной поддержки со стороны государства в условиях жесткой конкуренции на фоне демпинговой политики зарубежных селекционно-генетических компаний [3, 4]. Развал производственных систем племенных хозяйств на зарубежную селекцию. Предприятия, которые бы занимались селекционной

работой в исходных линиях и прапроародительских формах, в России практически нет (за исключением СГЦ «Смена») [3, 5].

Цель обзора – оценить современное состояние племенного птицеводства в России, проанализировать новейшие тенденции в селекционной работе ведущих мировых селекционно-генетических компаний, предложить пути восстановления отечественного племенного птицеводства и обеспечения продовольственной независимости страны.

Материал и методы. Материалами для обзора послужили опубликованные научные статьи в области селекции и генетики промышленных линий кур отечественных и зарубежных авторов, технические рекомендации по содержанию птицы ведущих селекционно-генетических компаний мира, нормативно-правовые документы и акты Российской Федерации. Поиск литературы проводился в базах данных e-Library, Science Direct и др., на сайтах специализированных журналов (например, *World's Poultry Science Journal*). Глубина поиска составила 10 лет.

Основная часть. На территории Российской Федерации рынок мясных кроссов делят две ведущие транснациональные компании "Aviagen Group" и "Cobb-Vantress", которые поставляют племенной материал в виде инкубационного яйца родительских и секси-

рованных суточных цыплят прародительских форм, практически в полном объеме обеспечивая потребности рынка, а также полностью осуществляют технологическое сопровождение своих кроссов¹.

Племенная база бройлерного птицеводства России представлена 4 репродукторами первого порядка, которые работают с импортным генетическим материалом. Что касается яичной птицы, то в России функционирует репродуктор первого порядка – АО ППЗ «Свердловский», который в 2017 г. из государственной собственности перешел в частную и стал частью «EW Group GmbH», а также СГЦ ООО «ППР «Свердловский», являющийся российско-голландским предприятием (совместно с «Isa Hendrix Genetics»), – селекционно-генетический центр (СГЦ) по разведению кросса «Hisex Brown» и репродуктор первого и второго порядка по разведению кросса «Decalb White». Яичных кроссов отечественной селекции в России фактически не осталось; птица исходных линий представлена большей частью импортными кроссами. Репродукторы второго порядка также практически полностью комплектуются птицей зарубежной селекции [6, 7].

В мировом птицеводстве ситуация аналогичная: сохранились только две значительные племенные компании по мясной птице – «Aviagen Group» (с брендами Ross, Hubbard, Arbor Acres, Indian River и Peterson) и «Cobb-Vantress» (с брендами Cobb, Avian, Sasso и Hybro). Что касается яичных кур промышленных кроссов, то это компании «Lohmann Tierzucht GmbH», «Hendrix Genetics» (с брендами Isa, Hisex, Decalb) и «Hy-Line International» [4, 8]. Селекционно-генетические центры объединились в транснациональные холдинги, занимающиеся мультивидовым разведением сельскохозяйственных животных, что позволяет не зависеть от конъюнктуры рынка в отрасли, создавать повсеместно дочерние предприятия, занимая все большую долю мирового рынка. Масштаб холдингов удешевляет генетические исследования, поскольку уровень накопленных знаний компании в генетике применим ко всем видам животных, что расширяет область применения и облегчает использование общей научной инфраструктуры, при этом в научную работу

вовлекается опыт и генетический материал всех поглощенных компаний [8]. Обратная сторона консолидации селекционно-генетических центров в мировом масштабе – снижение генетического разнообразия (на 60 %) и высокий уровень инбридинга в промышленных линиях кур (до 15-20 %) [9]. В данных условиях существует реальная биологическая опасность для сохранения этих линий из-за потенциальной восприимчивости «монокультур» к новым заболеваниям, что может уничтожить или же сильно навредить генетически однородной популяции.

Как уже было сказано, до приватизации государственных племенных заводов существовала система племенных и промышленных хозяйств РФ. Принцип организации такого кластера является универсальным как для отечественного птицеводства, так и для зарубежных компаний. Племенную работу с птицей возглавляли племенные заводы в тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими институтами. В задачу селекционных центров входило: создание новых и совершенствование существующих линий и кроссов птицы; разработка новых и совершенствование существующих методов селекции для выявления генетического потенциала птицы по основным хозяйственно полезным признакам; сохранение генофонда промышленных линий и пород птицы с целью его использования для создания новых высокопродуктивных линий и кроссов; координация и научно-методическое руководство исследованиями в области селекции и генетики птицы; научно-методическое руководство племенной работой в племенных заводах и племрепродукторах (за рубежом СГЦ являются частью крупных транснациональных холдингов). Головные предприятия системы заключали с хозяйствами договоры на обеспечение племенной продукцией, функции племенных и промышленных хозяйств были четко разграничены и взаимосвязаны [3, 10].

Племенные репродукторы первого порядка работают с прародительскими стадами кроссов. Сексированный линейный молодняк (петушков для отцовских и курочек для материнских линий) для этих стад племрепродукторы получают с племенных заводов (или зарубежных фирм). Репродукторы I порядка также могут входить в состав племенных заводов.

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 2. Породы животных (официальное издание). М., 2019. 204 с.

Режим доступа: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/07/REESTR_SKOT_2019-3.pdf

Основные задачи репродукторов I порядка – производство племенной продукции (суточного молодняка или инкубационного яйца) для получения родительских форм гибридов и обеспечение ими репродукторов второго порядка, которые работают с родительскими стадами кроссов. Это могут быть как специализированные хозяйства-репродукторы второго порядка, так и родительские стада птицефабрик.

На контрольно-испытательных станциях (КИС) проводили испытания межлинейных гибридов, родительских форм и отдельных линий птицы по комплексу хозяйственно полезных признаков, после которых специали-

сты давали заключение о целесообразности дальнейшей селекционно-племенной работы с кроссом или рекомендовали его для широкого промышленного использования.

Современное промышленное птицеводство основано на получении гибридной птицы (кроссов) путем скрещивания специализированных сочетающихся линий. Кроссы могут быть 2-х, 3-х и 4-линейными, в зависимости от числа линий, используемых в скрещиваниях для получения финального гибрида (бройлера, промышленной несушки) [3]. Общая схема получения четырехлинейных кроссов птицы (как яичных, так и мясных) представлена на рисунке.

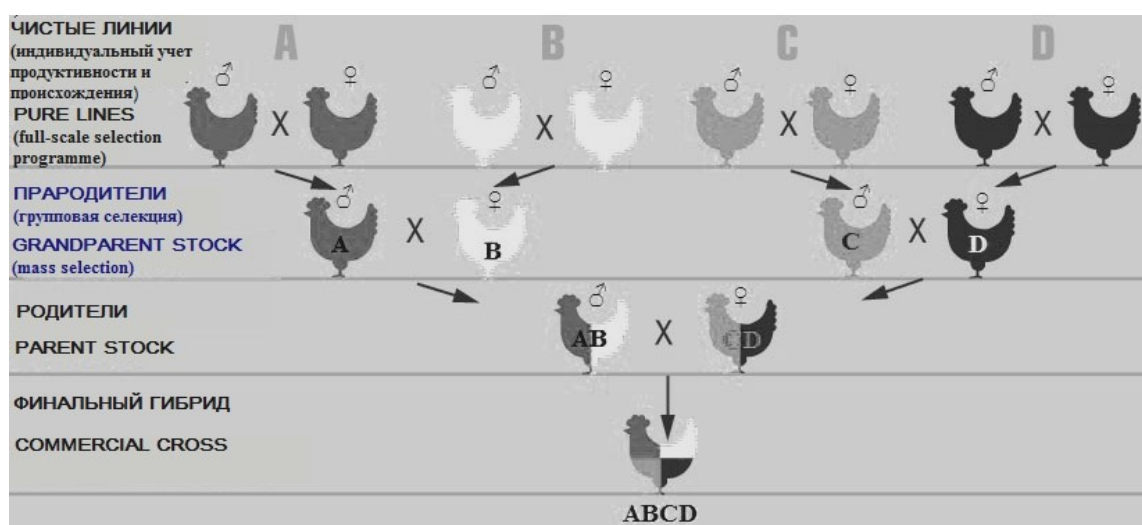


Рис. Схема получения 4-линейного промышленного кросса кур /
Fig. The scheme for obtaining a 4-linear commercial cross of chickens

В яичных промышленных кроссах отцовская и материнская родительские формы, а также финальный гибрид, как правило, аутосексны по скорости оперяемости крыла (ген K, k^+) или по цвету пуха суточных цыплят (ген S, s^+)^{2,3,4}. В состав кросса входит:

1. Селекционное стадо, включающее птицу гнездового и группового спаривания, а также испытатель. Это птица чистых (исходных) линий, подвергающаяся полномасштабной селекции. Поскольку любая селекционно-генетическая фирма за рубежом имеет свою линейку кроссов, она содержит как минимум 10 исходных линий. Разрыв между чистыми

линиями и финальным гибридом составляет 4 поколения.

2. Множитель исходных линий. Используется для увеличения количества птицы чистых линий, необходимой для получения прародительских стад, подвергается лишь лимитированной (обычно массовой) селекции. Множитель чистых линий, как и сами линии, условно можно назвать «закрытыми», поскольку они находятся в ведении исключительно той корпорации, которая их создавала, являясь своего рода «ноу-хау», и не реализуются в другие птицеводческие хозяйства.

² Aviagen. Feather sexing day-old chicks in the hatchery. [Электронный ресурс].

URL: http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Resources_Tools/Hatchery_How_Tos/011-How-to-11-FeatherSexDayOldChicks-EN-17.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

³ Руководство по инкубации яиц Ломанн Тирцухт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/66688272-Rukovodstvo-po-tehnologii-inkubacii-yaic-lomann-tircuht.html> (дата обращения: 03.04.2020).

⁴ Ralph G., Somes Jr. International Registry of Poultry Genetic Stocks. 1988. 113 p.

URL: <https://opencommons.uconn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1028&context=saes>

3. Прародительское стадо. В случае 4-линейного (ABCD) кросса это поколение является первой генерацией межлинейного скрещивания петухов линии А с курами линии В и петухов линии С с курами линии D, составляющими прародительское стадо.

4. Родительское стадо. Это вторая генерация межлинейного скрещивания между гибридными петухами АВ и курами CD.

5. Финальный гибрид (ABCD).

Яичное птицеводство. Селекционеры в яичном птицеводстве сегодня должны вести отбор или, по крайней мере, контролировать более 28 показателей: возраст полового созревания, возраст достижения 50 % яйценоскости, яйценоскость на начальную/среднюю/конечную несушку, уровень кладки в разные возрастные периоды, выводимость яиц, сохранность поголовья в период выращивания и кладки, массу яйца, живую массу,

конверсию корма, цвет и прочность скорлупы, высоту белка, содержание сухого вещества и липидов в яйце, наличие кровяных и мясных включений, этологические показатели, характеристики, влияющие на продуктивность родителей и т. д. [11]. Яичная продуктивность на начальную несушку продолжает оставаться наиболее важным селекционным показателем. Тем не менее, акцент селекции сместился от отбора по возрасту достижения пика кладки до отбора по продолжительности ее плато. Поскольку стадо несушек сохраняет высокий уровень кладки более длительное время, это позволяет продлить продуктивный период, откладывая линьку птицы (целевые показатели на ближайшую перспективу – 500 штук яиц от несушки за 100 недель жизни) [11, 12, 13]. Современный уровень продуктивности птицы яичных кроссов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Данные продуктивности коричневоскорлупных (Lohmann Brown Classic⁵, Hy-Line Brown⁶, Hisex Brown⁷) и белоскорлупных (Lohmann LSL White Classic⁸, Hisex White⁹, Hy-Line W-36¹⁰) яичных кроссов при клеточной системе содержания /

Table 1 – Production data for brown (Lohmann Brown Classic⁵, Hy-Line Brown⁶, Hisex Brown⁷) and white (Lohmann LSL White Classic⁸, Hisex White⁹, Hy-Line W-36¹⁰) laying crosses at cage housing system

Показатель / Characteristic	Кроссы / Crosses	
	коричневые / brown	белые / white
Возраст достижения 50 % кладки, дни / Age at 50 % of production, days	140-150	140-150
Пик кладки, % / Peak of production, %	93-96	94-96
Яиц на начальную несушку, шт. / Eggs per hen housed, pcs	428-433	407-418
Яйцемасса на начальную несушку за 17 недель кладки, кг / Egg mass per hen housed in 17 weeks of production, kg	25,6-28,5	25,09-26,5
Средняя масса яйца, г / Average egg weight, g	62,7-66,0	62,2-64,5
Прочность скорлупы, Н / Shell breaking strength, Newton	> 40	> 40
Потребление корма с 1 по 20 неделю жизни, кг / Feed consumption 1st-20th weeks age, kg	7,4-8,0	7,0-7,5
Потребление корма в период кладки, г/гол/сут / Feed consumption during production, g/day	105-120	98-115
Конверсия корма, кг/кг яйцемассы / Feed conversion, kg/kg egg mass	1,98-2,17	1,83-2,0
Живая масса в возрасте 20 недель жизни, кг / Body weight at 20 weeks age, kg	1,48-1,70	1,23-1,40
Живая масса в конце продуктивного периода, кг / Body weight at the end of production, kg	1,9-2,2	1,6-1,9
Сохранность в период выращивания, % / Liveability rearing, %	97-98	97-98
Сохранность взрослого поголовья, % / Livability laying period, %	92-94	93-95

⁵Lohmann Tierzucht. Lohmann Brown-classic. Management guide. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ltz.de/de-wAssets/docs/management-guides/en/Cage/Brown/LTZ-Management-Guide-LB-Classic-EN.pdf> (дата обращения: 03.04.2020).

⁶Hy-Line International. Руководство по содержанию Hy-Line коричневый. 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20COM%20RUS.pdf> (дата обращения: 03.04.2020).

⁷Hendrix Genetics. Hisex Brown product guide. 2020. [Электронный ресурс].

URL: https://www.hisex.com/documents/55/HB_cs_c_pgguide_L7150.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

⁸Lohmann Tierzucht Lohmann LSL-classic. Management guide. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ltz.de/de-wAssets/docs/management-guides/en/Cage/White/LTZ-Management-Guide-LSL-Classic.pdf> (дата обращения: 03.04.2020).

⁹Hendrix Genetics. Hisex White product guide. 2020. [Электронный ресурс].

URL: https://www.hisex.com/documents/58/HW_cs_c_pgguide_L7150.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

¹⁰Hy-Line International. Руководство по содержанию Hy-Line W-36. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/W-36/36%20COM%20RUS.pdf> (дата обращения: 06.04.2020).

Принято считать, что экономическая значимость степени резистентности к различным заболеваниям в условиях жестких схем вакцинации сравнительно невелика, тем не менее, сопротивляемость птицы к болезням варьирует от одной фирмы к другой. Вспышка какой-либо специфической болезни может заставить производителей птицеводческой продукции пересмотреть свои предпочтения при выборе кросса. Необходимо отметить, что даже склонность птицы к расклеву является одной из важных проблем при содержании птицы, и различия по этому показателю между кроссами значительно влияют на уровень их продаж [11, 13].

Селекция на устойчивость к болезням затрудняется низкой наследуемостью этого показателя, быстрой эволюцией вирусов в более вирулентные формы, а также селекционно-экономическими рисками. Методы выявления птицы, устойчивой к заболеваниям, также нуждаются в совершенствовании. Идентификация и маркировка специфических генов, отвечающих за резистентность, будет способствовать прогрессу в этой области [14, 15].

Важнейшим признаком отбора, обуславливающим экономическую эффективность, является конверсия корма. Улучшение данного показателя велось за счет увеличения яйцемассы и снижения живой массы кур, отбора на сокращение потребления корма при кормлении *ad libitum* при сохранении высокого уровня продуктивности. Во ВНИИГРЖ был предложен принципиально иной подход к отбору яичной птицы по конверсии корма, предусматривающий оценку птицы племенного ядра в конце продуктивного периода при уровне кладки не ниже 90 % и массе яиц не ниже 64 г на селективно-провокационном фоне (снижение суточной нормы потребления корма на 4-5 % при той же питательности рациона). Для дальнейшего племенного использования отбирали потомство кур, не снизивших показатели продуктивности на «провокационном» кормовом фоне [16].

Новые задачи возникли в связи с использованием яиц для дальнейшей глубокой переработки. Производители жидких яйцепродуктов устанавливают стандарты для прочности вителлиновой мембраны желтка¹¹, процентного содержания сухого вещества, липидов и пр. в жидком яичном продукте [17].

Мясное птицеводство. Селекционная работа с птицей в СГЦ осуществляется в соответствии с дифференциацией ее на отцовские и материнские формы. Основными признаками отбора в линиях отцовской формы породы корниш являются: скорость роста молодняка, мясные формы телосложения, конверсия корма, оплодотворенность яиц, сохранность, скорость оперяемости, белая или желтая кожа, а также яйценоскость, возраст достижения половой зрелости, масса яиц, их инкубационные качества [11, 13, 16, 18]. К основным селекционируемым признакам линий материнской формы (порода плимутрок) относятся: яйценоскость, конверсия корма, выход инкубационных яиц, инкубационные качества яиц, скорость роста молодняка, сохранность. Масса грудной мышцы, качество мяса, конверсия корма, выход цыплят на несушку родительского стада, убойный выход, качество и состав тушки (снижение доли абдоминального жира) являются основными характеристиками в многофакторной селекции всех линий¹². Дополнительными признаками отбора являются: скорость оперяемости, живая масса взрослых кур, масса яиц, возраст достижения половой зрелости, крепость костяка и др. [11, 13, 18]. В настоящее время в программы селекции мясных кур включают порядка 35 признаков.

Современный уровень продуктивности птицы мясных кроссов представлен в таблице 2.

Наиболее практичной стратегией для чистопородного линейного разведения мясной птицы является «отбор по коммерческому весу», в котором используется отбор по весу, соответствующему запросам рынка [11, 13]. Селекция на выход грудных мышц включает в себя прямое измерение размера грудной мышцы сибсов птицы племенного поголовья, а также оценку хозяйственно полезных признаков в процессе племенной работы. Кроме того, развитие и использование неинвазивных методов (ультразвуковой технологии, МРТ, рентгена) обеспечивает точный анализ мясных характеристик, проводимый на живой птице, а также позволяет выявлять наличие берцовой дисхондроплазии в племенном поголовье и, таким образом, вести селекцию на повышение крепости костяка [18].

¹¹Van Sambeek F. New production standards show improvement in egg quality. Hendrix Genetics. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://layinghens.hendrix-genetics.com/en/articles/new-production-standards-show-improvement-egg-quality/> (дата обращения: 03.04.2020).

¹²Aviagen. Научные исследования и развитие Aviagen – технология и методика. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.aviagen.com/about-us/research-development/> (Дата обращения: 06.04.2020).

Таблица 2 – Показатели продуктивности бройлеров при выращивании без разделения по полу (Ross 308¹³, Arbor Acres¹⁴, Cobb 50015¹⁵) /

Table 2 – As-hatched performance of broilers (Ross 308¹³, Arbor Acres¹⁴, Cobb 50015¹⁵)

Показатель / Characteristic	Значение / Value
Живая масса в возрасте 35 дней, кг / Body weight at 35 days, kg	2,226-2,273
Среднесуточный прирост, г / Daily gain, g	62,4-63,7
Потребление корма, кг / Feed consumption, kg	3,29-3,40
Конверсия корма, кг/кг / Feed conversion, kg/kg	1,473-1,495
Убойный выход, % / Eviscerated carcass, %	72,47-73,56
Выход грудного филе, % / Breast meat, %	23,33-24,49
Выход окорочков, % / Whole thigh/drumstick, %	22,98-23,22

Селекционно-генетические компании оценивают производимые кроссы в различных условиях содержания для выявления их генетического потенциала продуктивности и адаптационных способностей с целью сделать их универсальными для различных рынков.

Оценка племенной ценности птицы. При усовершенствовании существующих и создании новых кроссов кур для получения максимального эффекта селекции за поколение отбора важное значение имеет точная оценка племенной ценности особей, которые используются для воспроизводства.

Ожидаемая селекционная ценность особи, отобранная по фенотипу, была эффективной в реализации программы отбора и достижении генетического улучшения на протяжении десятилетий [19]. Но данный метод имел ряд ограничений. Необходимость точно и своевременно регистрировать фенотипы у кандидатов и/или их близких родственников, высокая стоимость сбора и обработки данных, необходимость учета большого количества хозяйственно полезных признаков на протяжении длительного периода времени затрудняет генетический прогресс на поколение отбора. Оценка наследуемости признака имеет решающее значение при выборе метода отбора. При долгосрочном отборе аддитивные генетические вариации продолжают уменьшаться в течение нескольких поколений, что приводит к снижению показателей наследуемости и генетического эффекта в каждом поколении.

Это обуславливает необходимость разработки более тонкого инструмента для более точной оценки генетической изменчивости признаков и племенной ценности индивида [11, 13].

В птицеводстве существует два основных способа селекции [11, 13]:

Семейная – каждая особь отбирается по генотипу и фенотипу с учетом происхождения.

Массовая – отбор происходит только по фенотипу, т. е. по количеству субъективных характеристик птицы.

В классической селекции различают три метода отбора, которые зависят от того, как проводится оценка:

– Способ тандемной селекции – поочередно доводится до нужного уровня один признак, например, яйценоскость. Далее работа ведется на совершенствование массы яиц, пигментации скорлупы и пр. Это очень перспективный метод, но для его реализации требуется много времени.

– Способ независимых уровней браковки – чаще всего применяемый метод, при котором к каждому признаку предъявляются минимально допустимые требования.

– Способ оценки по индексу – особь оценивается по ряду определенных признаков, имеющих различные весовые коэффициенты, которые в итоге выражаются одной величиной. Количество признаков, включенных в селекционные программы при работе с птицей, постоянно увеличивается, но не по всем признакам селекция ведется одинаковыми методами.

¹³ Aviagen. Ross 308. 2019. [Электронный ресурс]. URL: http://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross308-308FF-BroilerPO2019-EN.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

¹⁴ Aviagen. Arbor Acres Plus. 2019. [Электронный ресурс]. URL: http://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AASF-AAFF-BroilerPO2019-RU.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

¹⁵ Cobb-Vantress. Cobb 500. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://914e5772-594f-4480-9e9e-821643e188cc.filesusr.com/ugd/bb017a_34aace708b44d5aa8c5191a4f0a44b8.pdf (дата обращения: 03.04.2020).

Селекция по одной группе признаков может проводиться с помощью совокупного индекса, основанного на генетических значениях, тогда как по другой – по независимым уровням отбора, основанным на генетических или фенотипических значениях (предпочтительна для признаков, приближающихся к биологическому пределу, например, оплодотворяемость и выводимость и сложных признаков, например, сохранность).

В основе разработки статистических моделей для анализа селекционных данных лежат следующие принципы [11]:

1. В программах разведения используются большие популяции, которые размещены в относительно одинаковых условиях окружающей среды (жесткий контроль зоогигиенических и технологических параметров содержания кросса, его кормления, схем вакцинации).

2. Птица разделена на возрастные группы.

3. Схемы разведения птицы характеризуются иерархической гнездовой структурой: за петухом закрепляют 5-12 кур; при этом для дальнейшего воспроизводства из лучших селекционных гнезд оставляют не более чем по 2-3 петуха-сына.

Эти особенности объясняют, по крайней мере частично, успех методов классической генетики, основанной на селекционных индексах и оценке генетических параметров методом Хендерсона и т. д. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Теория отбора по селекционным индексам, например, не учитывает изменения в аддитивной генетической дисперсии из-за отбора, инбридинга и индивидуального закрепления производителей. Массив данных быстро становится громоздким, поскольку коэффициенты индекса должны пересчитываться каждый раз, когда изменяется объем информации о кандидате. Это подтолкнуло генетиков ограничить информацию близкими родственниками (например, родителями, полными сибсами, полусибсами), в то время как информация от более отдаленных родственников игнорируется. Была предложена модель бесконечно малых величин, представляющая собой модель с большим (строго говоря, бесконечным) числом независимых локусов, каждый из которых оказывает сравнительно небольшое влияние на интересующий признак [11]. Эта модель продолжает доминировать в мире количественной генетики, поскольку поддается мате-

матической проверке. Учеными ВНИИГРЖ на базе 3 российских племзаводов успешно применялся отбор петухов в гнезда по частотам распределения потомков [20].

Выводы об эффективности селекции могут основываться на различных методах. Некоторые из них требуют использования контрольных линий, чтобы со временем отделить генетические изменения от негенетических. На практике же большинство коммерческих фирм отказались от использования контрольных линий и поддерживают ограниченные, но активные тестовые программы для измерения эффективности своей программы, сравнивают свои кроссы с кроссами конкурентов, ищут варианты создания новых кроссов [11].

Любая система селекции основывается на оценке племенной ценности потенциальных родителей. Ее цель – получить, по-возможности, наиболее точный прогноз генетической ценности особи и продуктивных качеств ее потомков. Этим условиям наиболее полно отвечает методология BLUP – наилучшего линейного несмещенного прогноза (Best Linear Unbiased Prediction), разработанная еще в 1973 г. Henderson, которая позволяет учитывать родственные связи между животными, в том числе уровень инбридинга, отличия условий содержания, генетические группы, уровни выращивания и другие показатели, а также уменьшение генетической дисперсии из-за дрейфа генов и эффекта Балмера (сокращение генетического разнообразия вследствие селекции) [21]. В методе BLUP выделяется ряд моделей, важнейшими из которых являются отцовская, или Sire Model (оценивается племенная ценность отцов, имеющих потомство известной продуктивности), и личная модель животного, или Animal Model (оценивается племенная ценность животного по его собственной продуктивности, либо продуктивности родственников). Модели BLUP дифференцированы также в зависимости от того, оценивается племенная ценность по каждому признаку отдельно или по нескольким признакам одновременно. Для применения метода BLUP принципиальным является наличие безошибочной документации о происхождении животных и данных их собственной продуктивности и продуктивности родственников.

Когда расчет с использованием BLUP основан только на родословных и фенотипических признаках, генетические ковариации между родственниками вычисляются при

условии наличия родословных отношений. Они используются в BLUP для оптимального объединения информации от всех родственников для получения генетической оценки каждого кандидата. Когда генетические ковариации, в дополнение к информации о родословной, рассчитываются с учетом информации о генетических маркерах, точность оценки значительно повышается. Данные маркеров наиболее полезны для генетической оценки признаков с низкой наследуемостью, поскольку низкая наследуемость предполагает неаддитивное действие гена, а метод BLUP сложно реализовать для неаддитивных признаков, особенно при наличии инбридинга [11, 13]. Применение метода GBLUP (линейного непредвзятого прогнозирования на основе генома), позволяющего интегрировать данные однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) в «традиционные» BLUP-методы, основанные на использовании гено- и фенотипических индексов (репродукционных, производственных и т. д.), решает эту проблему. Оценка GBLUP, используя информацию прогноза, предлагает достаточно быстрый способ в селекционных процессах повысить избирательное давление на идентифицированные каким-либо способом геномные регионы с ещё большим влиянием на интересующие селекционера черты [22]. Таким образом, маркерная селекция не отрицает традиционных подходов к определению племенной ценности. Статистический анализ и технологии геномной селекции взаимно дополняют друг друга. Использование генетических маркеров позволяет ускорить процесс отбора животных, а индексные методы – точнее оценить эффективность этого отбора.

Геномные и постгеномные технологии в птицеводстве. Птицеводство до недавнего времени основывалось, главным образом, на том, что можно было наблюдать или измерять на фенотипическом уровне: учет количества снесенных яиц, массы тела и конверсии корма. К сожалению, на данные количественные характеристики также влияет большое число различных паратипических факторов, что может значительно снизить генетический прогресс за счет того, что уровень реализации генетического потенциала птицы по хозяйст-

венно полезным признакам зависит от условий окружающей среды.

Использование маркерной селекции значительно повышает точность информации о племенной ценности и особенно эффективно для показателей, которые имеют низкий коэффициент наследуемости, трудноизмеримы (например, устойчивость к стрессам, заболеваниям, качество мяса), или которые отсутствуют у определенного пола (например, яичная продуктивность у петухов). Данные технологии позволяют проводить отбор у суточных цыплят, не дожидаясь оценки по продуктивности. Так, раннее тестирование и отбор петушков являются экономически эффективным приёмом в селекции, что приводит к снижению интервала в поколениях отбора, в отличие от тех случаев, когда селекционер вынужден полностью полагаться на родословную для получения информации от родственников для принятия селекционных решений. Этот процесс может быть неточным, дорогостоящим и длительным [11].

Для некоторых хозяйственно полезных признаков, таких как яичная продуктивность материнских линий бройлеров, финансовые затраты значительно лимитируют численность оцениваемого поголовья. Однако в таких случаях многоступенчатый отбор может увеличить селекционный дифференциал в сочетании с молекулярной генетикой. Например, включение в селекционные программы методов геномной селекции позволило генетикам фирмы «Lohmann Tierzucht GmbH» повысить устойчивость яйцекладки на 25 %, прочности скорлупы – на 25 %, конверсию корма – на 20 %, показатели качества яиц – на 5 % и сохранность – на 15 %¹⁶. IT-технологии позволяют хранить и обрабатывать накопленные за много поколений огромные массивы данных, на основании которых генетики отслеживают закономерности и точнее предсказывают параметры получаемых гибридов на основе данных родителей. Компьютерная программа Flexi-breed компании «Isa» обрабатывает в режиме реального времени 165 млн параметров от 2,7 млн особей за 15 поколений и позволяет точно прогнозировать продуктивность будущих потомков производителя по результатам анализа ДНК родителей [8].

¹⁶Mischke N., Preisinger R. Как обеспечить достижение биологического «потолка» высокопродуктивной несушки. Междунар. проф. Форум: Технологии повышения эффективности в птицеводстве. 2017. 44 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://animal-profi.ru/upload/iblock/685/685b352f3da13a532057991b3486e781.pdf> (дата обращения: 03.04.2020).

Большинство показателей продуктивности имеют полигенную природу и определяются при взаимодействии с окружающей средой. В последнее время с разработкой и применением высокопроизводительных методов генотипирования появилась возможность изучения ассоциаций участков генома с селекционируемыми признаками. Известно несколько методов обнаружения связей: первый – с использованием маркеров, случайно распределенных в геноме (микросателлитах), которые позволили идентифицировать локусы количественных признаков (QTL) для некоторых экономически важных признаков [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]; второй основан на идентификации SNP в функциональных и позиционных генах-кандидатах и проверке их ассоциации в областях QTL [31, 32, 33, 34, 35, 36, 37]. С появлением методов полногеномного секвенирования (NGS) исследования ассоциаций между геномными вариантами и фенотипическими признаками (GWAS) вышли на новый уровень. Появилась возможность разработки и использования чипов (матриц), где сканирование генома происходит от десятков до сотен тысяч SNP для геномной оценки племенной ценности животного.

Двумя крупнейшими и наиболее конкурентоспособными платформами генотипирования чипов SNP являются Illumina (<http://www.illumina.com>) и Affymetrix (www.affymetrix.com) [11]. В настоящее время большинство коммерчески выпускаемых массивов SNP для домашних животных (собака, крупный рогатый скот, лошадь, свинья и овца) создаются с использованием платформы Bead-Array с технологией Illumina iSelect Infinium. Компания «Aviagen» начала разрабатывать первую панель SNP для курицы; плотность чипа увеличилась с 6 K до 12 K, 42 K и, в конечном итоге, до 600 K SNP [13]. Кастомный чип SNP Chicken 60 K (Illumina Inc., Сан-Диего, Калифорния) был разработан при финансовой поддержке двух племенных компаний («Cobb-Vantress» и «Hendrix Genetics»). Были введены жесткие ограничения на возможность его использования (только в исследовательских целях). Второй чип SNP (42 K SNP, Illumina Inc.) был впоследствии полностью разработан за счет частных средств («EW Group», состоящей из «Aviagen», «Hy-Line International» и «Lohmann Tierzucht»);

полученные данные также находятся в ограниченном доступе.

Открытие новых технологий полногеномного генотипирования позволило поднять селекцию в птицеводстве на более высокий уровень. Появилась возможность поиска геномных ассоциаций с различными фенотипическими признаками [22, 38]. С помощью новых технологий были обнаружены неизвестные ранее области QTL и уточнены данные о ранее опубликованных локусах [39, 40, 41]. SNP-генотипирование с использованием микрочипа Illumina Chicken 60K SNP iSelect BeadChip (Illumina, США), наряду с полногеномным секвенированием, используется для поиска геномных ассоциаций с признаками, связанными с иммунитетом птицы, и важными для производства фенотипическими характеристиками, такими, например, как качественные характеристики яйца и мяса птицы [42, 43].

Изучение генетических маркеров, основанных на Indel полиморфизме (удалениях или вставках участков генома) является очень важной задачей. Такого типа полиморфизмы могут кардинальным образом менять функцию гена (например, делеция, приводящая к курчавости перьев) [44].

Геномные технологии используют для анализа большую базу известных генотипов, которая постоянно пополняется. Многочисленные исследования показывают, что SNP могут эффективно использоваться в качестве генетических маркеров многих селекционируемых у кур признаков, таких как живая масса, яйценоскость, толщина скорлупы, величина грудной мышцы, скорость роста и т. д. Сканирование генома происходит с использованием чипов (матриц) с 50-60 тысячами SNP (которые маркируют основные гены количественных признаков) для определения генотипов с желательным проявлением совокупности продуктивных признаков и оценки племенной ценности животного. Для различных целей геномной селекции используются чипы разной плотности: низкой и средней – для генетической идентификации популяций, а чипы высокой плотности – для поиска геномных ассоциаций с интересующими селекционеров признаками. Для нахождения SNP в геномах кур-кандидатов для отбора используется программное обеспечение, созданное разра-

ботчиками SNP-чипов – GenomeStudio для Illumina и AxiomAnalysisSuite для Affymetrix. Дополнительные этапы контроля качества, такие как проверка несоответствий между родителями и потомками, тестирование на неожиданное изменение частот аллелей между поколениями, могут быть выполнены с помощью общедоступного программного обеспечения, например, PLINK [11].

Второе преимущество молекулярной генетики – интрогрессия (приобретение генов другого вида при межвидовой гибридизации). Примером успешного применения этого метода является ген голой шеи, желательный для птицеводства в условиях жаркого климата. Но необходимо отметить, что некоторые потребители за рубежом требуют от коммерческих птицефабрик предоставить информацию о том, что данная птица не является генетически модифицированным организмом (ГМО). Это значительно снижает интерес производителей использовать методы трансгенеза [11]. Использование маркерной селекции для программ интрогрессии или повторяющегося отбора отклоняет часть селекционного нажима от черт, имеющих экономическое значение. Таким образом, при интрогрессии польза от гена-мишени должна быть больше, чем та, которую можно достичь путем регулярного классического отбора в течение того же периода времени. С другой стороны, программы отбора, проводимые методами классической селекции, могут быть улучшены путем увеличения числа протестированных особей и/или эффективного размера популяции, что позволит либо увеличить интенсивность отбора, либо снизить скорость инбридинга, увеличивая, тем самым, как краткосрочный, так и долгосрочный эффекты селекции.

Необходимо учитывать, что оптимальный долгосрочный эффект селекции достигается путем минимизации потерь благоприятных аллелей, которые возникают в результате случайного генетического дрейфа и связанной с этим инбредной депрессией, при одновременной максимизации частоты желательных аллелей. С одной стороны, отбор увеличивает частоту благоприятных аллелей и противодействует потере аллелей в результате дрейфа генов. С другой стороны, увеличение интенсивности отбора также уменьшает эффективный размер популяции, что увеличивает ско-

рость потери благоприятных аллелей. Точно так же программы отбора, которые повышают его точность, такие как BLUP, уменьшают эффективный размер популяции, поскольку обычно выбираются родственники [13]. Таким образом, программы отбора, которые оптимизируют краткосрочные и долгосрочные эффекты, обычно не совпадают. Сохранение генетической изменчивости имеет важное значение для поиска генов, которые могут иметь весимость в будущем для борьбы с новым заболеванием или для решения новой задачи отбора, или просто для восстановления аллелей, потерянных в процессе отбора. Молекулярно-генетические инструменты могут помочь сохранить это разнообразие. Кроме того, полезные аллели, потерянные в процессе селекции, можно обнаружить в популяциях генофондных пород кур.

Полиморфизм инсерций-делеций является одним из важнейших факторов эволюции генома. Замечено, что большинство Indel полиморфизмов не равномерно распределены по геному и чаще встречаются в локусах, содержащих тандемные повторы [45]. Повышенная частота Indel полиморфизмов сопровождается повышенной частотой SNP мутаций.

Решающим фактором в вопросе интеграции классических и новых генетических подходов к проблемам является экономика. Селекционеры и производители будут использовать любой подход, который увеличивает их общую прибыльность. Рентабельность определяется разницей в доходах от продаж за вычетом затрат на разработку. Объем продаж в основном определяется генетическим превосходством кроссов.

Основными недостатками использования методов молекулярной генетики в настоящее время являются стоимость и скорость анализа. Исходя из экономических соображений, в настоящее время маркеры могут быть определены только для тех животных, которые находятся в элитном племенном ядре. Затраты являются большой проблемой при комбинированном отборе, потому что молекулярная информация является дополнением, а не заменой фенотипической информации, и в этом случае соотношение цена-выгода может привести к тому, что маркерная селекция окажется не более эффективной, чем простой фенотипический

отбор. Использование методов геномной селекции имеет следующие ограничения:

- Необходимость достижения стабильной точности геномного прогноза – установления связи между SNP и продуктивностью для референтной популяции, что связано со значительными затратами.

- Геномные прогнозы вне референтной популяции будут точны только в том случае, если оцениваемое племенное поголовье близкородственно поголовью референтной популяции.

- SNP-связи являются специфичными для породы и линии. Поэтому невозможно перенести формулу прогноза с одной линии на другую. Также крайне необходимо иметь точную статистику продуктивности для очень большого количества животных. Таким образом, геномная селекция в птицеводстве – это прикладное направление и разрабатывается на конкретное стадо под конкретные цели как метод достижения результата с большей скоростью для признаков с низкой наследуемостью.

Также существует мнение, что большие GWAS просто собирают большинство вариантов ДНК, которые влияют на регуляцию генов, и которые оказываются активными в широких функциях клеток, имеющих отношение к изучаемому признаку. Поскольку периферийные гены по количеству значительно превосходят основные гены, большая часть общего генетического вклада в развитие какого-либо признака, например, устойчивости к заболеваниям, происходит от периферических генов, которые не играют в этом прямой роли [46]. Ключевые гены можно рассматривать как гены, которые имеют самые сильные эффекты или обладают интерпретируемыми механистическими связями с изучаемым признаком. Таким образом, вклад конкретного генетического варианта чаще всего является косвенным, а в реальности все влияет на все [46].

Современное состояние организации племенного птицеводства в России. Так как более 90 % племенной птицы промышленных линий в России импортируется, в целях снижения зависимости от зарубежных поставок и в соответствии с «Доктриной продовольственной безопасности» Минсельхозом РФ была предложена Подпрограмма: «Создание отечественного конкурентоспособного кросса мясных кур в целях получения бройлеров», разработанная в соответствии с направлением реа-

лизации Федеральной научно-технической Программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996 (Госпрограмма), предусматривающим создание селекционно-генетических центров по птицеводству и внедрение отечественных конкурентоспособных технологий [3].

До 2020 года в России запланировано создание нескольких крупных селекционно-генетических центров. По бройлерному птицеводству – на базе СГЦ «Смена» в Московской области, а по яичной птице – на ППЗ «Свердловский» [5, 47, 48].

Однако данная подпрограмма имеет и ряд существенных недостатков: пока создается материально-техническая и кадровая базы, даже при условии финансирования, к 2025 году целевые показатели подпрограммы по параметрам отечественных кроссов устареют. В мире уже существуют отработанные технологии, основанные, прежде всего, на сочетании геномной селекции с обработкой глобального массива информации и данных с конкретных предприятий по всему миру. Это позволяет отслеживать качественные и производственные параметры кроссов от конкретных экземпляров исходных линий через прародительские и родительские стада до финального гибрида во всех странах, куда их поставляют.

Заключение. В результате анализа современного состояния племенного птицеводства в России, а также новейших тенденций в селекционной работе ведущих мировых селекционно-генетических компаний, можно сделать вывод, что для обеспечения продовольственной независимости страны необходимо создать собственную конкурентоспособную племенную базу, не уступающую западным кроссам по уровню продуктивности, для чего необходимо решить следующие задачи:

- создать собственные селекционно-генетические центры, а также племенные репродукторы I и II порядка;

- разработать и внедрить инновационные методы в области геномной селекции;

- разработать и создать программно-информационные системы и специализированные селекционные компьютерные программы для обработки и анализа метаданных.

References

1. Гальперн И. Л., Синичкин В. В., Станишевская О. И., Бычаев А. Г., Пахомова Т. И., Джолова М. Н., Слепухин В. В., Емашкина И. А., Гуреев А. А. Селекционно-генетические методы и программы выведения новых линий и создания конкурентоспособных кроссов яичных и мясных кур. СПб., 2010. 164 с.
- Gal'pern I. L., Sinichkin V. V., Stanishevskaya O. I., Bychaev A. G., Pakhomova T. I., Dzholova M. N., Slepukhin V. V., Emashkina I. A., Gureev A. A. *Seleksionno-geneticheskie metody i programmy vyvedeniya novykh liniy i sozdaniya konkurentosposobnykh krossov yaichnykh i myasnykh kur*. [Selection and genetic methods and programs for breeding new lines and creating competitive crosses of egg- and meat-type chickens]. Sankt-Peterburg, 2010. 164 p.
2. Костиков А. Л., Самбуров Н. В. Кроссы мясных цыплят отечественной и зарубежной селекции. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014;(5):62-65. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22499669>
- Kostikov A. L., Samburov N. V. *Krossy myasnykh tsyplyat otechestvennoy i zarubezhnoy seleksii*. [Crosses of broiler-type meat chickens of Russian and foreign selection]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2014;(5):62-65. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22499669>
3. Мишуров Н. П., Кузьмин В. Н., Голубев И. Г., Маринченко Т. Е., Кузьмина Т. Н., Чавыкин Ю. И., Францкевич В. С. Зарубежный и отечественный опыт разработки и применения мер и инструментов поддержки создания отечественных конкурентоспособных кроссов мясной птицы. Правдинский: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 72 с. Режим доступа: https://rosinformagrotech.ru/images/pdf/otchet_pticevodstvo_2018.pdf
- Mishurov N. P., Kuz'min V. N., Golubev I. G., Marinchenko T. E., Kuz'mina T. N., Chavykin Yu. I., Frantskevich V. S. *Zarubezhnyy i otechestvennyy opyt razrabotki i primeneniya mer i instrumentov podderzhki sozdaniya otechestvennykh konkurentosposobnykh krossov myasnoy ptitsy*. [Foreign and Russian experience in the development and application of measures and tools to support the creation of domestic competitive meat-type poultry crosses]. Pravdinskiy: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. 72 p. URL: https://rosinformagrotech.ru/images/pdf/otchet_pticevodstvo_2018.pdf
4. Бобылева Г. А. Итоги работы птицеводческой отрасли России и задачи на будущее. Птица и птицепродукты. 2018;(2):4-6. Режим доступа: <http://www.vniipp.ru/images/statya/20182/st2.pdf>
- Bobyleva G. A. *Itogi raboty ptitsevodcheskoy otrasli Rossii i zadachi na budushchee*. [The results of the work of the poultry industry in Russia and challenges for the future]. *Ptitsa i ptitseprodukty* = Poultry and Poultry Products. 2018;(2):4-6. (In Russ.). URL: <http://www.vniipp.ru/images/statya/20182/st2.pdf>
5. Буяров А. В., Буяров В. С. Формирование конкурентоспособной базы отечественного племенного птицеводства. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(3):105-111. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35016573>
- Buyarov A. V., Buyarov V. S. *Formirovanie konkurentosposobnoy bazy otechestvennogo plemennogo ptitsevodstva*. [Formation of the competitive base of domestic breeding poultry]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(3):105-111. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35016573>
6. Ушаев И. Г. Импортзамещение в АПК России: проблемы и перспективы: монография. М., 2015. С. 212-242.
- Ushachev I. G. *Importozameshchenie v APK Rossii: problemy i perspektivy: monografiya*. [Import substitution in the agro-industrial complex of Russia: problems and outlook: monograph]. Moscow, 2015. pp. 212-242.
7. Зыков С. А. Современные тенденции развития птицеводства. Эффективное животноводство. 2019;4(152):51-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39323601>
- Zykov S. A. *Sovremennye tendentsii razvitiya ptitsevodstva*. [Current trends in the development of poultry breeding]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2019;4(152):51-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39323601>
8. Hendrix T. Мировая селекция животных: что нового? Zootechnica international. 2019;6:36-39.
- Hendrix T. *Mirovaya selektsiya zhivotnykh: chto novogo?* [World animal breeding: what's new?]. Zootechnica international. 2019;6:36-39. (in Russ.).
9. Muir W. M., Wong G. K.-S., Zhang Y., Wang J., Groenen M. A. M., Crooijmans R. P. M. A., Megens H. J., Zhang H., Okimoto R., Vereijken A., Jungerius A., Albers G. A. A., Lawley C. T., Delany M. E., MacEachern S., Cheng H. H. Genome-wide assessment of worldwide chicken SNP genetic diversity indicates significant absence of rare alleles in commercial breeds. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008;105(45):17312-17317. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0806569105>
10. Фисинин В. И., Ройтер Я. С., Егорова А. В., Коноплева А. П., Тяпугин Е. Е., Шашина Г. В., Ройтер Л. М., Дегтярева Т. Н., Карпенко Л. С., Тюриков В. М., Петрухин О. Н., Щербакова Н. Г. Племенная работа в птицеводстве. Сергиев Посад, 2011. 255 с.
- Fisinin V. I., Royter Ya. S., Egorova A. V., Konopleva A. P., Tyapugin E. E., Shashina G. V., Royter L. M., Degtyareva T. N., Karpenko L. S., Tyurikov V. M., Petrukhin O. N., Shcherbakova N. G. *Plemennaya rabota v ptitsevodstve*. [Selection in poultry breeding]. Sergiev Posad, 2011. 255 p.

11. Muir W. M., Aggrey S. E. Poultry genetics, breeding and biotechnology. London, 2003. 715 p. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851996608.0000>
12. Thiruvankadan A. K., Panneerselvam S., Prabakaran R. Layer breeding strategies: an overview. World's Poultry Science Journal. 2010;66(03):477-502. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933910000553>
13. Saxena V. K., Kolluri G. Selection Methods in Poultry Breeding: From Genetics to Genomics. Application of Genetics and Genomics in Poultry Science. 2018;Ch.2:19-32. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77966>
14. Looi F., Baker M., Townson T., Richard M., Novak B., Doran T. J., Short K. R. Creating disease resistant chickens: a viable solution to avian influenza? Viruses. 2018;10(10):561. DOI: <https://doi.org/10.3390/v10100561>
15. Berghof T. V. L., Matthijs M. G. R., Arts J. A. J., Bovenhuis H., Dwars R. M., van der Poel J. J., Visker M. H. P. W., Parmentier H. K. Selective breeding for high natural antibody level increases resistance to avian pathogenic Escherichia coli (APEC) in chickens. Developmental and comparative immunology. 2019;93:45-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.12.007>
16. Гальперн И. Л., Синичкин В. В., Бычаев А. Г., Станишевская О. И., Федорова Е. С. Ускорение темпов генетического прогресса продуктивных признаков яичных и мясных кур. СПб., 2009. 66 с.
Gal'pern I. L., Sinichkin V. V., Bychaev A. G., Stanishevskaya O. I., Fedorova E. S. *Uskorenie tempov geneticheskogo progressa produktivnykh priznakov yaichnykh i myasnykh kur*. [Acceleration of the rate of genetic progress of productive traits of egg and meat-type chickens]. Sankt-Peterburg, 2009. 66 p.
17. Rossi M., Nys Y., Anton M., Bain M., de Ketelaere B., de Reu K., Dunn I., Gautron J., Hammershøj M., Hidalgo A., Meluzzi A., Mertens K., Nau F., Sirri F. Developments in understanding and assessment of egg and egg product quality over the last century. World's Poultry Science Journal. 2013;69(02):414-429. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933913000408>
18. Thiruvankadan A. K., Prabakaran R., Panneerselvam S. Broiler breeding strategies over the decades: an overview. World's Poultry Science Journal. 2011 67(02):309-336. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933911000328>
19. Tixier-Boichard M., Leenstra F., Flock D., Hocking P. M., Weigend S. A century of poultry genetics. World's Poultry Science Journal. 2012; 68(02):307-321. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933912000360>
20. Дмитриев В. Б., Гальперн И. Л. Новый принцип оценки племенных качеств птицы. Птицеводство. 2003;(4):2-4.
Dmitriev V. B., Gal'pern I. L. *Novyy printsip otsenki plemennykh kachestv ptitsy*. [A new principle for assessing the breeding qualities of poultry]. *Ptitsevodstvo*. 2003;(4):2-4. (In Russ.)
21. Панькова С. Н. Оценка племенной ценности птицы с использованием BLUP. Инновационное обеспечение яичного и мясного птицеводства России: материалы XVIII Междунар. конференции. Сергиев Посад, 2015. С. 77-79.
Pan'kova S. N. *Otsenka plemennoy tsennosti ptitsy s ispol'zovaniem BLUP*. [Evaluation of the effectiveness of chicken selection using the BLUP method]. *Innovatsionnoe obespechenie yaichnogo i myasnogo ptitsevodstva Rossii: materialy XVIII Mezhdunar. konferentsii*. [Innovative provision of egg and meat poultry production in Russia: Proceedings of the XVIIIth International Conference]. Sergiev Posad, 2015. pp. 77-79.
22. Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Перспективы использования оценки племенной ценности в бройлерном птицеводстве России для совершенствования экономически значимых признаков (обзор). Генетика и разведение животных. 2018;(2):20-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35340484>
Sermiyagin A. A., Zinov'eva N. A. *Perspektivy ispol'zovaniya otsenki plemennoy tsennosti v broylernom ptitsevodstve Rossii dlya sovershenstvovaniya ekonomicheski znachimykh priznakov (obzor)*. [Perspectives for using the estimated breeding value in Russian broiler chicken to improve economically important traits]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2018;(2):20-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35340484>
23. Van Kaam J. B. C. H. M., van Arendonk J. A. M., Groenen M. A. M., Bovenhuis H., Vereijken A. L. J., Crooijmans R. P. M. A., van der Poel J., Veenendaal A. Whole genome scan for quantitative trait loci affecting body weight in chickens using a three generation design. Livestock Production Science. 1998;54(2):133-150. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00171-1)
24. Tatsuda K., Fujinaka K. Genetic mapping of the QTL affecting body weight in chickens using a F2 family. British poultry science. 2001;42:333-337. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071660120055296>
25. Ikeobi C. O., Woolliams J. A., Morrice D. R., Law A., Windsor D., Burt D. W., Hocking P. M. Quantitative trait loci for meat yield and muscle distribution in a broiler layer cross. Livestock Production Science. 2004;87:143-151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.09.020>
26. Zhou H., Deeb N., Evock-Clover C. M., Ashwell C. M., Lamont S. J. Genome-wide linkage analysis to identify chromosomal regions affecting phenotypic traits in the chicken II. Body Composition. Poultry Science. 2006;85(10):1712-1721. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/85.10.1712>
27. Ambo M., Moura A. S., Ledur M. C., Pinto L. F., Baron E. E., Ruy D. C., Nones K., Campos R. L., Boschiero C., Burt D. W., Coutinho L. L. Quantitative trait loci for performance traits in a broiler x layer cross. Animal Genetics. 2009;40:200-208. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2008.01824.x>

28. Goraga Z. S., Nassar M. K., Brockmann G. A. Quantitative trait loci segregating in crosses between New Hampshire and White Leghorn chicken lines: I. egg production traits. *Animal genetics*. 2012;43(2):183-189. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2011.02233.x>
29. Nassar M. K., Goraga Z. S., Brockmann G. Quantitative trait loci segregating in crosses between New Hampshire and White Leghorn chicken lines: II. Muscle weight and carcass composition. *Animal Genetics*. 2012;43:739-745. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02344.x>
30. Nassar M. K., Goraga Z. S., Brockmann G. Quantitative trait loci segregating in crosses between New Hampshire and White Leghorn chicken lines: III. Fat deposition and intramuscular fat content. *Animal Genetics*. 2013;44:62-68. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02365.x>
31. Shen X., Zeng H., Xie L., He J., Li J., Xie X., Luo C., Xu H., Zhou M., Nie Q., Zhang X. The GTPase activating Rap/RanGAP domain-like 1 gene is associated with chicken reproductive traits. *PLoS One*. 2012;7:e33851. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033851>
32. Boschiero C., Jorge E. C., Ninov K., Nones K., do Rosário M. F., Coutinho L. L., Ledur M. C., Burt D. W., Moura A. S. Association of IGF1 and KDM5A polymorphisms with performance, fatness and carcass traits in chickens. *Journal of applied genetics*. 2013;54:103-112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-012-0129-6>
33. Felício A. M., Boschiero C., Balieiro J. C., Ledur M. C., Ferraz J. B., Moura A. S., Coutinho L. L. Polymorphisms in FGFBP1 and FGFBP2 genes associated with carcass and meat quality traits in chickens. *Genetics and molecular research*. 2013;12:208-222. DOI: <https://doi.org/10.4238/2013.January.24.13>
34. Felício A. M., Boschiero C., Balieiro J. C., Ledur M. C., Ferraz J. B., Michelan Filho T., Moura A. S., Coutinho L. L. Identification and association of polymorphisms in CAPN1 and CAPN3 candidate genes related to performance and meat quality traits in chickens. *Genetics and molecular research*. 2013;12:472-482. DOI: <https://doi.org/10.4238/2013.February.8.12>
35. Sheng Q., Cao D., Zhou Y., Lei Q., Han H., Li F., Lu Y., Wang C. Detection of SNPs in the cathepsin D gene and their association with yolk traits in chickens. *PloS One*. 2013;8(2):e56656. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056656>
36. Pertille F., Zanella R., Felício A. M., Ledur M. C., Peixoto J. O., Coutinho L. L. Identification of polymorphisms associated with production traits on chicken (*Gallus gallus*) chromosome 4. *Genetics and molecular research*. 2015;14:10717-10728. DOI: <https://doi.org/10.4238/2015.september.9.11>
37. Mitrofanova O.V., Dementeva N.V., Krutikova A.A., Yurchenko O.P., Vakhrameev A.B., Terletskiy V.P. Association of polymorphic variants in MSTN, PRL, and DRD2 genes with intensity of young animal growth in Pushkin breed chickens. *Cytology and Genetics*. 2017;51(3):179-184. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0095452717030082>
38. Яковлев А. Ф., Деметьева Н. В. Использование геномных данных в селекции птицы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017; 21(7): 770-777. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.298>
Yakovlev A. F., Dement'eva N. V. *Ispol'zovanie genomnykh dannykh v seleksii ptitsy*. [Evaluation of the genome data in poultry breeding]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(7):770-777. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.298>
39. Guo J., Qu L., Dou T. C., Shen M. M., Hu Y. P., Ma M., Wang K. H. Genome-wide association study provides insights into the genetic architecture of bone size and mass in chickens. *Genome*. 2019;63(3):1-29. DOI: <https://doi.org/10.1139/gen-2019-0022>
40. Liu Z., Yang N., Yan Y., Li G., Liu A., Wu G., Sun C. Genome-wide association analysis of egg production performance in chickens across the whole laying period. *BMC Genetics*. 2019;20(1):67. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0771-7>
41. Qu L., Shen M., Guo J., Wang X., Dou T., Hu Y., Li Y., Ma M., Wang K., Liu H. Identification of potential genomic regions and candidate genes for egg albumen quality by a genome-wide association study. *Archives Animal Breeding*. 2019;62(1):113-123. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-62-113-2019>
42. Liu Z., Sun C., Yan Y., Li G., Shi F., Wu G., Liu A., Yang N. Genetic variations for egg quality of chickens at late laying period revealed by genome-wide association study. *Scientific reports*. 2018;8(1):10832. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29162-7>
43. Moreira G. C. M., Boschiero C., Cesar A. S. M., Reecy J. M., Godoy T. F., Pärttilä F., Ledur M. C., Moura A. S. A. M. T., Garrick D. J., Coutinho L. L. Integration of genome wide association studies and whole genome sequencing provides novel insights into fat deposition in chicken. *Scientific Reports*. 2018;8(1):16222. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34364-0>
44. Dong J., He C., Wang Z., Li Y., Li S., Tao L., Chen J., Li D., Yang F., Li N., Zhang Q., Zhang L., Wang G., Akinyemi F., Meng H., Du B. A novel deletion in KRT75L4 mediates the frizzle trait in a Chinese indigenous chicken. *Genetics selection evolution*. 2018;50(1):68. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0441-7>
45. Williams L. E., Wernegreen J. J. Sequence context of indel mutations and their effect on protein evolution in a bacterial endosymbiont. *Genome Biology and Evolution*. 2013;5:599-605. DOI: <https://doi.org/10.1093/gbe/evt033>

46. Boyle E. A., Li Y. I., Pritchard J. K. An expanded view of complex traits: from polygenic to omnigenic. *Cell*. 2017;169(7):1177-1186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.05.038>

47. Бачкова Р. С. Настоящее и будущее российского племенного птицеводства. *Птицеводство*. 2017;(1):9-16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28150452>

Bachkova R. S. *Nastoyashchee i budushchee rossiyskogo plemennogo ptitsevodstva*. [The present and the future of Russian poultry breeding]. *Ptitsevodstvo*. 2017;(1):9-16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28150452>

48. Зыков С. А. Современные тенденции развития птицеводства. *Эффективное животноводство*. 2019;(4):51-52. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39323601>

Zykov S. A. *Sovremennyye tendentsii razvitiya ptitsevodstva*. [Current trends in the development of poultry breeding]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2019;(4):51-52. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39323601>

Сведения об авторах

✉ **Федорова Елена Сергеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1618-6271>, e-mail: Osot2005@yandex.ru

Станишевская Ольга Игоревна, доктор биол. наук, зав. отделом генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9504-3916>, e-mail: olgastan@list.ru

Дементьева Наталья Викторовна, кандидат биол. наук, зав. лабораторией молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), д. 55а, Московское шоссе, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0210-9344>, e-mail: dementevan@mail.ru

Information about the authors

✉ **Elena S. Fedorova**, PhD in Biology, senior researcher, the Department of Genetics, Breeding and Conservation of Genetic Resources of Poultry, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1618-6271>, e-mail: Osot2005@yandex.ru

Olga I. Stanishevskaya, DSc in Biology, Head of the Department of Genetics, Breeding and Conservation of Genetic Resources of Poultry, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9504-3916>, e-mail: olgastan@list.ru

Natalia V. Dementieva, PhD in Biology, Head of the Laboratory of Molecular Genetics, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Moskovskoe Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0210-9344>, e-mail: dementevan@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.233-244>
УДК 636.087.69+664.696



Технологии экструдирования кормов и продуктов питания, включающих биомассу насекомых (обзор)

© 2020. В. И. Пахомов¹, С. В. Брагинец¹, О. Н. Бахчевников¹✉, А. С. Алферов¹, Д. В. Рудой²

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

В обзоре рассмотрены вопросы экструдирования кормов и пищевых продуктов, включающих биомассу насекомых. Включение насекомых в состав кормов и продуктов повышает их питательную ценность за счет обогащения протеином и жиром. Наибольшее распространение получило экструдирование измельченных и высушенных насекомых в форме муки в смеси с растительным сырьем, в основном измельченным зерном. Но смесь необработанных личинок насекомых и измельченного растительного сырья также может быть успешно подвергнута экструдированию. Выявлены частные закономерности процессов экструдирования биомассы насекомых и растительного сырья. Установлено, что при увеличении содержания насекомых в экструдате его цвет становится более темным, поверхность менее гладкой, структура более слоистой, снижается твердость, уменьшается значение индекса водопоглощения и увеличивается значение индекса водной растворимости экструдата, а также его влажность. Изменение скорости подачи сырья в экструдер позволяет изменять свойства готового экструдата. При увеличении подачи сырья уменьшается значение индекса водопоглощения экструдата и его влажность, но увеличивается индекс водной растворимости. В настоящее время не определены рациональные параметры процесса экструдирования, общие для всех смесей растительного сырья и биомассы насекомых, и характер их влияния на свойства готовых экструдатов. Тема экструдирования сырья для производства кормов и пищевых продуктов, содержащих биомассу насекомых, является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований.

Ключевые слова: пища из насекомых, корм из насекомых, протеин, жир, смешивание, экструдирование, экструдат, мука из насекомых

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0706-2019-0006).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пахомов В. И., Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С., Рудой Д. В. Технологии экструдирования кормов и продуктов питания, включающих биомассу насекомых (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):233-244. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.233-244>

Поступила: 07.04.2020 Принята к публикации: 13.05.2020 Опубликована онлайн: 23.06.2020

Extrusion technologies of feed and food including biomass of insects (review)

© 2020. Viktor I. Pakhomov¹, Sergey V. Braginets¹, Oleg N. Bakhchevnikov¹✉, Aleksander S. Alferov¹, Dmitri V. Rudoy²

¹Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

The review deals with the problems of extrusion of feed and food including biomass of insects. Inclusion of insects into the composition of feed and food increases their nutritional value through enrichment with protein and fat. Extrusion of the flour from ground and dried insects blended with vegetable raw material, generally presented by grinded grain, is most commonly used. However, the blend of crude larvae of insects and grinded vegetable raw materials can be also successfully extruded. Specific regularities of processes of insect biomass and vegetable raw material extrusion have been developed. It has been established, that with increase in insect content in the extrudate, its color becomes darker, the surface less smooth, the structure more layered. The hardness declines, the value of water absorption index decreases, the value of water solubility index and its moisture content increase. Variation in the rate of raw material feed into the extruder allows to change the properties of a finished extrudate. As the value of raw materials feed increases, the water absorption index of the extrudate and its moisture content decrease, but the water solubility index increases. Rational parameters of the extrusion process general for all blends of vegetable raw materials and insect biomass as well as the nature of their influence on properties of finished extrudate have not been determined yet. The problem of extrusion raw materials for the production of feed and food containing biomass of insects is promising but requires carrying out supplementary studies.

Keywords: insects as food, insects as feed, protein, fat, mixing, extrusion, extrudate, insect flour

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Agricultural Research Centre Donskoy (theme No. 0706-2019-0006).

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

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

For citation: Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Alferov A. S., Rudoy D. V. Extrusion technologies of feed and food including biomass of insects (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):233-244. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.233-244>

Received: 07.04.2020

Accepted for publication: 13.05.2020

Published online: 23.06.2020

В настоящее время актуально повышение качества кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры, в связи с чем необходимо обеспечить высокое содержание протеина в их составе [1]. Особенно важно включать в состав кормов компоненты животного происхождения с высоким содержанием протеина для удовлетворения потребности животных в незаменимых аминокислотах [2]. Но в последние годы происходит уменьшение объемов производства белкового кормового сырья животного происхождения, такого как рыбная и крилевая мука, приводящее к значительному повышению их стоимости [3, 4]. Это сопровождается ухудшением качества сырья и случаями его фальсификации [5]. Для кормов, предназначенных для ценных пород рыб, это имеет критическое значение [6].

В то же время в развивающихся странах Азии и Африки из-за быстрого роста населения имеет место дефицит пищевого сырья, богатого белками. Во всем мире ученые проводят исследования по поиску новых недорогих кормовых и пищевых компонентов с высоким содержанием протеина, в том числе незаменимых аминокислот [7, 8]. Одним из наиболее перспективных видов белкового кормового и пищевого сырья по экономическим критериям

и содержанию протеина является биомасса насекомых [9, 10, 11].

Насекомых как источник корма для сельскохозяйственных животных издавна использовали в развивающихся странах [12], где фермеры скармливали собранных вручную насекомых и их личинок птице [13]. Насекомых использовали при приготовлении пищи для людей в странах Африки и Юго-Восточной Азии [14], но при этом они не были объектом научного изучения как сырье для кормопроизводства и, тем более, пищевой промышленности.

Специально выращивать насекомых для использования в качестве кормов и пищи начали в 90-е годы XX века в странах Азии [14]. Тогда же началось изучение их питательной ценности и влияния на продуктивность животных и здоровье людей. В последнее десятилетие насекомых начали активно выращивать и использовать в качестве кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры [9, 11], а также пищевого сырья [15] по всему миру, в том числе в развитых странах Европы и Америки.

Начиная примерно с 2010 г., насекомые, как корм для животных и пища для людей, стали объектом активного научного изучения (рис. 1).

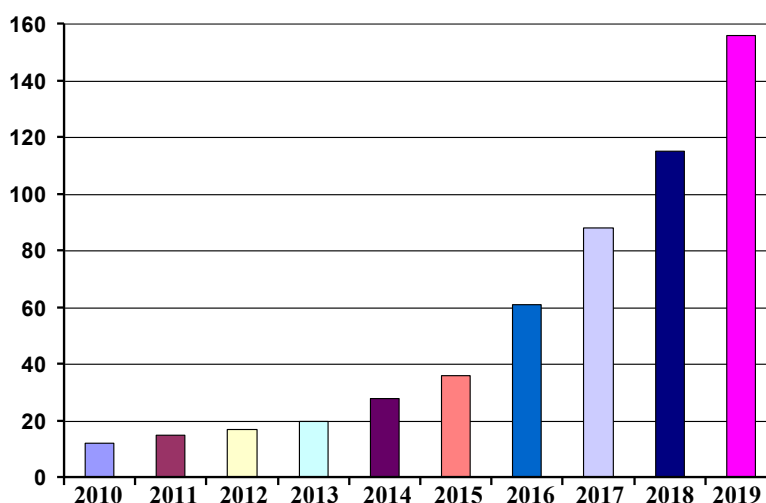


Рис. 1. Динамика количества опубликованных научных статей в библиографической базе «Scopus», посвященных использованию насекомых в пищу и как корм (2010-2019 гг.) /

Fig. 1. Dynamic of the number of published scientific articles devoted to insects as food and feed in the Scopus database (2010-2019)

За последнее десятилетие произошел переход от использования насекомых в целом виде к их переработке с целью обеспечения длительной сохранности, удобства введения в состав комбикормов и пищевых продуктов, и повышения усвояемости [16, 17]. Их высушивают, измельчают, а также перерабатывают в протеинсодержащую муку и жир, после чего часто смешивают с другим сырьем [9, 11]. Насекомых успешно включают в рационы домашней птицы, свиней, молодняка крупного рогатого скота и различных видов рыб [9, 10]. Установлено, что мука из насекомых может заменить в рационах животных рыбную муку [5, 9, 11], соответствуя ей по аминокислотному профилю [2, 9]. Насекомых успешно включают и в состав пищевых продуктов для людей, таких как снеки (закуски) [18].

Насекомые по своему составу и структуре отличаются от традиционных видов кормового и пищевого сырья [9, 19]. Поэтому их обработка с целью подготовки к включению в состав кормов и пищевых продуктов требует применения технологических операций, отличных от используемых при обработке традиционных сырьевых компонентов. Активное исследование технологий переработки насекомых ведется лишь в последние шесть лет (2014-2020 гг.), но эта тема все еще недостаточно изучена [20], а общепринятое мнение научного сообщества об оптимальных для этого технологических приемах пока отсутствует [21, 22].

При производстве комбикормов для сельскохозяйственных животных и рыб, а также многих пищевых продуктов, часть либо все входящие в их состав компоненты смешивают и подвергают экструдированию для улучшения структуры и повышения усвояемости питательных веществ [23]. Экструзионная обработка сырья при производстве комбикормов стала в последнее время общепринятым стандартом. В рамках этого подхода насекомых также подвергают экструдированию в смеси с другими видами сырья, чаще всего растительного происхождения [9]. При этом насекомых обрабатывают в двух различных формах. В первом случае их используют в виде обезжиренной и обезвоженной протеинсодержащей муки [24] либо высушенной и измельченной массы без отделения жира, т. е. применяют полностью переработанную биомассу насекомых. В другом варианте их используют в виде непереработанной биомассы [25]. Так как биомасса насекомых является новым видом сырья для комбикормового и пищевого производства,

то рациональные параметры ее экструдирования точно не установлены и являются предметом научных исследований.

Цель обзора – обобщение и анализ научных публикаций, посвященных технологиям экструдирования кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры, а также пищевых продуктов, включающих биомассу насекомых, изучение сведений о рациональных параметрах их осуществления и влиянии на свойства экструдатов.

Материал и методы. Отбор и систематический обзор научной литературы по заявленной теме был выполнен по методу С. Okoli [26] и R. J. Тоггасо [27]. Для отбора научных статей на русском и английском языках провели поиск по ключевым словам в библиографических базах «Google Scholar» и «Scopus». Также произвели обзор научных журналов по тематике исследования, в первую очередь ведущего журнала в этой области – «Journal of Insects as Food and Feed» [28]. В качестве временных рамок для отбора публикаций был принят интервал 2010-2020 гг., так как именно в последнее десятилетие тема использования насекомых в качестве корма и пищи стала объектом пристального изучения. Более ранние публикации изучали только при отсутствии статей по конкретному аспекту исследуемой темы.

В данном обзоре главное внимание уделено статьям, освещающим вопросы производства экструдированных кормов из насекомых. Так как тема экструдирования биомассы насекомых является новой и недостаточно изученной, то помимо статей, в которых исследовалось приготовление экструдированных кормов, изучали и статьи, описывающие приготовление пищевых продуктов из насекомых ввиду сходства процессов экструдирования сырья.

Вопросы биологической безопасности пищевых продуктов и кормов, содержащих биомассу насекомых, не являются предметом рассмотрения в данной статье.

Основная часть. Особенности насекомых как кормового и пищевого сырья. В качестве источника кормового сырья используют в основном личинки и предкуколки насекомых [9, 10]. Наиболее распространенным видом насекомых, личинки которых используют как корм, является муха черная львинка (*Hermetia illucens*) [29, 30]. Также используют личинки других видов синантропных мух [31]. Это обусловлено простотой и дешевизной их выращивания на субстратах из растительного

сырья или пищевых отходов [32] и высокой биоконверсией, достигающей 77 % [33]. Также в качестве корма часто используют личинки мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) [9].

Личинки и предкуколки этих видов насекомых содержат большое количество протеина – 30-48 %, при этом на долю переваримого протеина приходится 85-95 % [34]. Содержание жира в личинках также высокое и составляет 20-45 % [9]. Личинки имеют очень высокую влажность – 60-65 % [9, 35], поэтому часто для включения в состав кормов их предварительно сушат [36]. Содержание питательных веществ в личинках колеблется в широких пределах и зависит от вида субстрата, на котором их выращивают [35, 37]. Из насекомых, используемых как корм для животных и пища для людей во взрослом состоянии, наиболее распространен домашний сверчок (*Acheta domestica*) [38]. В особях сверчков содержится 55-67 % протеина и 15-20 % жира [9, 39], их влажность составляет 50-60 % [9]. Сходный состав имеют саранча и кузнечики [40].

Насекомые и их личинки имеют невысокую механическую прочность и легко поддаются измельчению [9, 10]. Отличительной особенностью насекомых и их личинок как кормового и пищевого сырья является наличие достаточно прочной наружной оболочки (кутикулы), содержащей полисахарид хитин [9, 11]. Содержание хитина в насекомых колеблется от 5 до 15 % [9], в частности, личинки черной львинки содержат 5-8 % хитина [29, 41].

Предварительная обработка биомассы насекомых. Наибольшее распространение получил способ предварительной обработки, при котором насекомых подвергают измельчению и сушке, после чего производят разделение биомассы личинок насекомых на фракции механическими (отжим жира, сепарация) и химическими (экстракция) методами, результатом применения которых является выделение из нее белков, жиров и хитина [42]. Выделенный протеин подвергают измельчению и конвективной сушке, получая высушенную обезжиренную массу, представляющую собой аналог рыбной муки [43].

Наиболее простым способом предварительной подготовки биомассы насекомых к введению в состав кормов и пищевых продуктов является конвективная сушка при температуре 70-80 °C и последующее измельчение [36, 37]. Недостатком этой технологии является разрушение части протеина при длительном нагреве и наличие в корме прочного хитина.

Полученную в результате предварительной обработки биомассу насекомых либо протеин-содержащую муку смешивают с другими компонентами, в основном растительным сырьем (измельченным зерном и др.), и подвергают экструдированию [24, 25].

Экструдирование кормов и пищевых продуктов, включающих муку из насекомых. Коллектив африканских ученых (F. G. Irungu, C. M. Mutungi, H. Affognon и др.) в 2017-2018 гг. провел исследования по экструдированию кормов для рыб, включавших муку из личинок черной львинки и сверчков [24, 44, 45, 46]. Основу корма составляли растительные компоненты – измельченные зерна подсолнечника, пшеницы и кукурузы, а также клубни маниока.

Суть экспериментов заключалась в замене в составе экструдированных комбикормов для рыб муки из креветок на муку из личинок черной львинки или взрослых особей сверчков и сравнении свойств нового и традиционного экструдированных кормов. При этом в разных вариантах смеси заменяли 25, 50 и 75 % муки из креветок на соответствующее количество муки из личинок черной львинки или сверчков. Также изменяли влажность кормовой смеси, доводя ее до уровня 10, 20 и 30 %. Для приготовления муки насекомых бланшировали и сушили на солнце, затем измельчали на молотковой дробилке с диаметром решета 1 мм. Доля компонентов животного происхождения в смеси составляла 28,5 %. Остальными компонентами корма были измельченные семена подсолнечника, кукурузы, пшеницы и клубни маниока.

Корм экструдировали на одношнековом экструдере с отношением длины шнека к диаметру 9:1. Экструдирование производили при постоянных параметрах: частота вращения шнека 200 об/мин, температура 120 °C, подача 1 кг/мин, диаметр фильеры 2 мм. Кормовую смесь предварительно обрабатывали паром под давлением 4 бар.

Результаты экспериментов показали, что мука из насекомых может успешно заменить муку из креветок в кормах для рыб, так как содержащие их экструдаты имеют сходные показатели содержания питательных веществ, а также такие физические параметры как пластичность гранул, индекс расширения, плотность, стабильность гранул в воде. Установлено, что замена в составе корма креветок на насекомых не оказала существенного влияния ($p > 0,05$) на физические параметры экструдата.

В то же время влажность исходного корма оказывала влияние на параметры экструдата. Значения некоторых параметров экструдированного корма приведены в таблице 1 [24]. В итоге F. G. Irungu и его соавторы пришли к выводу, что экструдированный корм для

рыб, включающий муку из насекомых с желательным составом питательных веществ и физическими параметрами, может быть получен при влажности исходной смеси до 30 %, а приведенные выше параметры процесса экструдирования являются оптимальными.

Таблица 1 – Влияние вида насекомых, их содержания и влажности на физические параметры экструдированного корма (F. G. Irungu и др., 2018) /

Table 1 – Effect of insect type, level of insect inclusion and feed moisture content on physical parameters of extruded feed (F. G. Irungu et al., 2018)

Физический параметр / Physical parameter	Влажность, % / Moisture content, %	Экструдат, не содержащий насекомых (контроль) / Extrudate without insects (control)	Экструдат, содержащий личинки черной львинки (уровень замены креветок 75 %) / Extrudate including black soldier fly larvae (level of substitution for shrimps 75 %)	Экструдат, содержащий сверчков (уровень замены креветок 75 %) / Extrudate including adult crickets (level of substitution for shrimps 75 %)
Плавучесть, % / Floatability, %	10	68,8	7,5	0
	20	98,8	12,5	51,3
	30	100	98,8	96,3
Коэффициент расширения, % / Expansion ratio, %	10	54,5	49,4	57,7
	20	59,5	52,5	54
	30	52,6	55,7	54,5
Объемный вес, г/л / Bulk density, g/l	10	570,5	861,3	822,9
	20	466,3	676,8	597,7
	30	453,8	428,1	520,7

Коллектив итальянских ученых (M. R. Alam, M. Scampicchio и др.) в 2019 г. исследовал влияние термопластической экструзии на свойства экструдированных продуктов [47]. Экструдированию подвергали смесь измельченных зерен кукурузы и высушенных и измельченных куколок черной львинки в соотношении 1:1 и 3:1, также экструдировали продукты, содержащие 100 % кукурузы либо 100 % насекомых. Для этого использовали двухшнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 40:1, диаметр фильеры 2 мм. Скорость подачи сырья в экструдер изменяли с 0,02 до 2,5 кг/ч. Температурный градиент в экструдере был обеспечен благодаря 7 независимым электрическим нагревательным сегментам, имевшим температуру соответственно 60, 80, 100, 100, 90 и 70 °C.

В результате экспериментов M. R. Alam и др. [47] установили, что цвет экструдата по мере увеличения в нем доли муки из насекомых с 0 до 100 % становится все более темным, структура все более неоднородной и слоистой, а поверхность менее ровной (рис. 2).

При увеличении содержания муки из насекомых уменьшается значение индекса водопоглощения (с 4,0 до 2,1 г/г) и увеличивается значение индекса водной растворимости (с 7,5 до 16,8 %) экструдата, а также его влажность (с 33,9 до 40,7 %). Индекс поглощения масла уменьшался (с 1,9 до 1,3 г/г) при увеличении доли муки из насекомых в экструдате.

Увеличение скорости подачи сырья в экструдер приводило к уменьшению индекса водопоглощения экструдата, увеличению индекса водной растворимости, уменьшению влажности экструдата. Величина подачи не оказывала существенного влияния на индекс поглощения масла. Таким образом, изменение скорости подачи сырья позволяет изменять параметры готового экструдата, добиваясь получения продукта с заданными свойствами.

M. R. Alam и его соавторы пришли к выводу, что муку из насекомых можно успешно использовать как источник протеина в смеси с растительным сырьем для приготовления экструдированных кормов и продуктов питания [47].

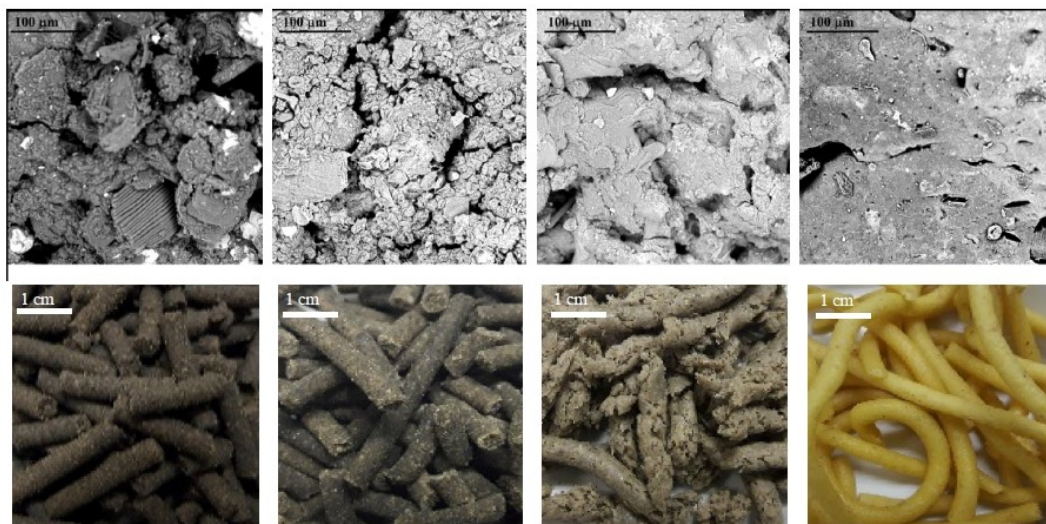


Рис. 2. Внутренняя структура и внешний вид экструдата (M. R. Alam и др., 2019). Образцы слева направо: 100 % муки из насекомых; 50 % муки из насекомых; 25 % муки из насекомых; 100 % зерновой муки /

Fig. 2. Internal structure and surface appearance of the extrudate (M. R. Alam et al., 2019). Samples from left to right are: 100 % insect flour; 50 % insect flour; 25 % insect flour; 100 % grain flour

Коллектив ученых из Кении (J. N. Kinyuru и др.) в 2015 г. исследовал приготовление экструдированного пищевого продукта, включавшего 10 % измельченных термитов [48]. Состав продукта: плоды амаранта 71 %, кукуруза 10,4 %, термиты 10 %, рыба *Dagaa* 3 %, масло растительное 0,6 %, сахар 5 %. Для сравнения экструдировали продукт, в котором отсутствовали рыба и термиты, а их доля была замещена амарантом.

Перед экструдированием термиты были бланшированы в течение 1 мин и высушены в печи в течение часа при температуре 120 °С, так же была обработана рыба. Растительные и животные компоненты продукта измельчали на молотковой дробилке с диаметром отверстий решета 2 мм. Затем компоненты смешивали, подвергали экструдированию и измельчали.

Использовали одношнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 25:1. Параметры процесса экструдирования: влажность сырья – 12,0-14,4 %, ввод воды – 9 %, подача – 33 кг/ч, частота вращения шнека – 300 об/мин, температура корпуса 70 °С (зона 1), 100 °С (зона 2), 127 °С (зона 3). В результате экструдирования был получен пищевой продукт хорошего качества со сроком хранения 6 месяцев. Продукт, включавший термитов, имел более высокую пищевую ценность, чем контрольный продукт без них: содержание протеина – 19,1 % (контроль – 14,6 %), жиров – 26,1 % (контроль – 19,8 %), калорийность –

423,6 ккал (контроль – 407,2 ккал). Это компенсировало более высокую себестоимость нового продукта – на 14,7 % выше, чем у контрольного. Влажность экструдата составила 8,7 % (контроль 9,4 %), объемный вес 0,4 г/см³ (0,5 г/см³), влагопоглощающая способность 19,8 мл/100 г (19,2 мл/100 г).

Недостатком этого исследования является то, что в состав нового пищевого продукта помимо термитов входила и рыба, поэтому сложность представляет определение вклада каждого из ингредиентов животного происхождения в изменение параметров экструдата.

В 2019 г. группа ученых из Кении (S. M. Kiiru, J. N. Kinyuru и др.) провела исследования процесса экструдирования смеси соевого белкового изолята и обычной и обезжиренной муки из сверчков [49]. Содержание муки из сверчков в смеси составляло 15, 30 и 45 %, контроль – 100 % соевый изолят. Использовали двухшнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 25:1, диаметр шнека – 16 мм. Параметры процесса экструдирования: частота вращения шнека – 150 об/мин, подача сырья – 1 кг/ч. Температура экструдирования составляла 120, 140 и 160 °С, подача воды – 10 мл/мин.

Результаты экспериментов показали, что корреляция температуры экструдирования и усвояемости белка отрицательная, в то время как корреляция содержания муки из сверчков и усвояемости белка положительная. Самая

высокая усвояемость белка в готовом продукте (50 %) была зафиксирована при содержании соевого изолята 45 % и температуре 120 °C. Твердость экструдата увеличивалась при повышении температуры, но уменьшалась при увеличении содержания муки из насекомых в смеси.

S. M. Kiiru и его соавторы сделали вывод, что экструдированные продукты, содержащие сырье из насекомых, являются хорошей альтернативой мясным продуктам [49].

Немецкие ученые S. Smetana и др. в 2018 г. исследовали процесс производства аналога мяса, состоящего из соевого протеинового концентрата (содержание – 60 %) и протеиновой муки из личинок мучного жука (*Alphitobius diaperinus*) – 40 %, методом влажной экструзии [50]. Для этого использовали двухшнековый экструдер, частота вращения шнека которого составляла 400 об/мин, скорость подачи – 3,41 кг/ч, температура – 160-170 °C. Но так как целью этой работы было изучение внутренней структуры полученного экструдата на предмет ее схожести со структурой мяса, то в ней не приводятся значения параметров экструдата и их зависимость от параметров экструдирования.

S. Smetana и соавторы в 2019 г. продолжили исследования процесса производства аналога мяса методом влажной экструзии смеси сои и измельченных личинок насекомых [51]. Они установили, что температура экструдирования и содержание насекомых в смеси влияют на физические свойства экструдата. Так, увеличение температуры или уменьшение подачи воды повышает твердость волокон экструдата. Оптимальная мясоподобная структура экструдата была достигнута при самом высоком содержании биомассы насекомых 40 % и максимальной температуре 170 °C.

Итальянские ученые D. Azzollini, A. Derossi и др. в 2018 г. исследовали процесс приготовления снеков (закусок) методом экструзии [52]. Снеки готовили из смеси пшеничной муки и измельченных личинок мучного хрущака (*Tenebrio molitor*). Содержание насекомых в исходной смеси составляло 0, 10 и 20 %. Использовали двухшнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 36:1. Частота вращения шнека составляла 240, 320 и 400 об/мин, температура – 120, 140 и 160 °C. В результате экспериментов было установлено, что микроструктура снеков (пористость, размеры пор, волокнистость и др.) с со-

держанием насекомых 10 % улучшается при увеличении температуры и частоты вращения шнека. В то же время снеки с содержанием насекомых 20 % имели худшую микроструктуру по причине увеличения жирности сырья. D. Azzollini и его соавторы сделали вывод, что насекомые как сырье могут быть включены в небольшом количестве (до 10%) в состав зерновых снеков для повышения содержания белка [52].

Группа испанских ученых (M. Igual и др.) в 2020 г. также исследовала процесс приготовления зерновых снеков (закусок) методом экструзии [53]. Их готовили из смеси измельченной кукурузы и муки из сверчков, содержание которой составляло 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 и 15,0 %. Для этого использовали одношнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 25:1, частота вращения шнека которого составляла 150 об/мин, скорость подачи – 1,58 кг/ч, температура нагревательных секций корпуса – 25, 70, 170 и 175 °C.

В результате экспериментов было установлено, что параметры экструдатов зависят от содержания в них муки из сверчков. В частности, увеличение содержания насекомых приводит к уменьшению коэффициента расширения экструдата, индекса водной растворимости и пористости, но увеличивает индекс водопоглощения и объемный вес. При этом структура экструдатов, содержащих более 10 % насекомых, была менее однородной, а поверхность менее гладкой, цвет более темный, т.е. потребительские свойства снеков ухудшились.

M. Igual и др. сделали вывод, что мука из сверчков может быть использована для обогащения экструдированных зерновых снеков протеином, причем оптимальное ее содержание в продукте для обеспечения его потребительских свойств составляет 7,5 % [53].

Экструдирование кормов, включающих необработанную биомассу насекомых. Коллективом итальянских и бельгийских ученых (M. Ottoboni, T. Sprangers и др.) в 2017 г. выполнены экспериментальные исследования экструдирования корма, включающего необработанные личинки и куколки черной львинки [25].

На одношнековом экструдере экструдировали смесь измельченной пшеницы и личинок либо куколок черной львинки в соотношении 75:25 с добавлением или без добавления подсолнечного масла. Экструдер был снабжен

нагревателями, сообщавшими его корпусу температуру 60, 70, 80 и 90 °С. Частота вращения шнека составляла 100 об/мин. В качестве критерия эффективного осуществления процесса экструдирования М. Ottoboni и др. использовали эффективный крутящий момент (NTV) на валу экструдера: $NTV < 100$ Н·см – смесь хорошо экструдирована, $NTV > 100$ Н·см – смесь плохо экструдирована.

В результате экспериментов было установлено, что смеси куколок черной львинки и зерна пшеницы с низким содержанием растительного масла и без масла плохо экструдировались (табл. 2) [25]. Напротив, смесь с высоким содержанием масла показала удовлетворительную экструдированность. Но самую лучшую экструдированность имела смесь личи-

нок черной львинки и зерна пшеницы без масла. Объясняется это тем, что личинки насекомых содержат значительно больше жира, чем куколки [9, 25]. Это согласуется с другими публикациями [13, 24, 30, 36, 37], в которых для приготовления кормов и продуктов используют именно личинки черной львинки, а не взрослых особей. М. Ottoboni и его соавторы объясняют полученные результаты также тем, что содержащийся в личинках насекомых жир оказывает положительное влияние на процесс экструдирования кормовой смеси, в частности снижает его удельную энергоёмкость. По их мнению, жир уменьшает трение между экструдатом и шнеком, а также корпусом экструдера, что приводит к уменьшению эффективного крутящего момента (NTV).

Таблица 2 – Экструдированность изучаемых смесей пшеницы и насекомых (М. Ottoboni и др., 2017) /
Table 2 – Extrudability of tested mixtures including wheat and insects (M. Ottoboni et al., 2017)

Состав смеси, % / Mixture composition, %	Эффективный крутящий момент, Н·см / Net torque value, N·cm	Экструдированность / Extrudability
Куколки + пшеница 25:75 (без масла) / Prepupae + wheat 25:75 (no oil)	200-400	Неэкструдированная / Not extrudable
Куколки + пшеница 25:75 (малое содержание масла) / Prepupae + wheat 25:75 (low oil content)	> 400	Неэкструдированная / Not extrudable
Куколки + пшеница 25:75 (среднее содержание масла) / Prepupae + wheat 25:75 (medium oil content)	100-130	Плохая / Poor
Куколки + пшеница 25:75 (высокое содержание масла) / Prepupae + wheat 25:75 (high oil content)	50-100	Удовлетворительная / Acceptable
Личинки + пшеница 25:75 (без масла) / Larvae + wheat 25:75 (no oil)	80-120	Хорошая / Good

Анализ содержания протеина в экструдате показал, что наибольшее его количество было в смесях личинки + пшеница (без масла) – 5,37 % и куколки + пшеница (высокое содержание масла) – 4,62 %. Это объясняется лучшими условиями протекания процесса экструдирования. Также было установлено, что высокая влажность личинок насекомых не является препятствием для успешного экструдирования кормовой смеси, в ходе которого происходит испарение из сырья излишней влаги.

Результаты исследования М. Ottoboni и др. показывают, что личинки насекомых возможно успешно включать в состав экструдированных кормов в целом виде без предварительного отделения жира и измельчения [25], что снижает себестоимость приготовления кормов.

Этот вывод подтвердили и результаты проведенных авторами настоящей статьи экспериментальных исследований экструдиро-

вания смеси личинок черной львинки и зерна пшеницы, подробно изложенные в статье [54].

Заключение. Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что экструдирование находит все большее применение при производстве кормов и пищевых продуктов, включающих биомассу насекомых. Введение насекомых в состав кормов и продуктов повышает их питательную ценность за счет обогащения протеином и жиром. Но эта тема все еще недостаточно исследована, о чем говорят и сами авторы научных публикаций [17, 47, 55].

Наибольшее распространение получило экструдирование измельченных и высушенных насекомых в форме муки в смеси с растительным сырьем, в основном измельченным зерном пшеницы и кукурузы. Однако результаты исследований, проведенных М. Ottoboni и др. [25], показали, что в случае использования личинок насекомых их предварительное

измельчение и сушка не являются обязательными технологическими операциями подготовки сырья к экструдированию. Смесь необработанных личинок насекомых и измельченного растительного сырья может быть успешно подвергнута экструдированию. К такому же выводу пришли и отечественные исследователи [54].

Авторы проанализированных научных публикаций исследовали лишь частные вопросы технологии экструдирования конкретных продуктов и кормов, содержащих биомассу насекомых. При этом параметры процесса экструдирования сырья ученые чаще всего принимали, исходя из возможностей имеющегося в их распоряжении экструдера и вспомогательного оборудования. Предметом исследования служила возможность получения при заданных параметрах процесса качественного экструдированного продукта с заданными свойствами, а не выявление общих закономерностей процесса экструдирования.

Исследований, выявляющих общие закономерности процесса экструдирования смесей растительного и животного сырья (насекомых), не проводилось, обобщающие научные публикации по этому вопросу отсутствуют. Таким образом, не определены параметры процесса экструдирования, общие для всех смесей растительного сырья и биомассы насекомых, и характер их влияния на свойства готовых экструдатов.

Тем не менее, на основе анализа научных публикаций выявлены некоторые частные закономерности процессов совместного экструдирования биомассы насекомых и растительного сырья. Установлено, что при увеличении содержания насекомых в экструдате его цвет становится более темным, а поверхность менее гладкой, структура более слоистой, снижается твердость. При этом уменьшается значение индекса водопоглощения и увеличивается значение индекса водной растворимости экструдата, а также его влажность. Изменение скорости подачи сырья в экструдер позволяет изменять параметры готового экструдата. Так, при увеличении подачи сырья уменьшается значение индекса водопоглощения экструдата и его влажность, но увеличивается индекс водной растворимости.

Тема экструдирования сырья для производства кормов и пищевых продуктов, содержащих биомассу насекомых, является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований для определения параметров процесса экструдирования, общих для всех смесей растительного сырья и биомассы насекомых, и закономерностей их влияния на свойства готовых экструдатов.

Авторы надеются, что данный обзор будет полезен отечественным ученым в качестве отправной точки для их научно-исследовательских работ по перспективной тематике включения биомассы насекомых в состав кормов и пищевых продуктов.

Список литературы

1. Kim S. W., Less J. F., Wang L., Yan T., Kiron V., Kaushik S. J., Lei X. G. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2019;7(1):17.1-17.23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014838>
2. Ayadi F. Y., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K. Alternative protein sources for aquaculture feeds. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*. 2012;4(1):1-26. DOI: <https://doi.org/10.3923/joafsnu.2012.1.26>
3. Olsen R. L., Hasan M. R. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*. 2012;27(2):120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>
4. Singh P., Paul B. N., Giri S. S. Potentiality of new feed ingredients for aquaculture: A review. *Agricultural Reviews*. 2018;39(4):282-291. DOI: <https://doi.org/10.18805/ag.r-1819>
5. Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds. *Feeds for the Aquaculture Sector*. 2018;1-28. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1
6. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: opportunities and challenges. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018;6(2): 3087-3094. URL: <http://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartAJ/6-1-130-287.pdf>
7. Carlberg H., Lundh T., Cheng K., Pickova J., Langton M., Gutierrez J. L. V., Kiessling A., Brannasa E. In search for protein sources: Evaluating an alternative to the traditional fish feed for Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Aquaculture*. 2018;486:253-260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.027>
8. Khan S. H. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*. 2018;46(1):1144-1157. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
9. Makkar H. P. S., Tran G., Heuze V., Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 2014;197:1-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

10. Sogari G., Amato M., Biasato I., Chiesa S., Gasco L. The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*. 2019;9(4):119. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9040119>
11. Van Huis A., Dicke M., van Loon J. J. A. Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(1):3-5. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2015.x002>
12. Halloran A., Roos N., Flore R., Hanboonsong Y. The development of the edible cricket industry in Thailand. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2016;2(2):91-100. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2015.0091>
13. Pomalegni S. C. B., Gbemavo D. S. J. C., Kpade C. P., Kenis M., Mensah G. A. Traditional use of fly larvae by small poultry farmers in Benin. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017;3(3):187-192. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0061>
14. Yen A. L. Insects as food and feed in the Asia Pacific region: current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(1):33-55. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2014.0017>
15. Payne C. L. R., Dobermann D., Forkes A., House J., Josephs J., McBride A., Muller A., Quilliam R. S., Soares S. Insects as food and feed: European perspectives on recent research and future priorities. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2016;2(4):269-276. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0011>
16. Lock E. J., Biancarosa I., Gasco L. Insects as Raw Materials in Compound Feed for Aquaculture. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. 2018;263-276. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_16
17. Van Huis A. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):27-44. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0017>
18. Severini C., Azzollini D., Albenzio M., Derossi A. On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*. 2018;106:666-676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034>
19. Kourimska L., Adamkova A. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*. 2016;4:22-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
20. Van Huis A. Edible insects and research needs *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017;3(1):3-5. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.x002>
21. Dobermann D. Insects as food and feed: can research and business work together? *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017;3(2):155-160. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0040>
22. Aarts K. W. P. How to develop insect-based ingredients for feed and food? A company's perspective. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):67-68. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2018.x008>
23. Coffey D., Dawson K., Ferket P., Connolly A. Review of the feed industry from a historical perspective and implications for its future. *Journal of Applied Animal Nutrition*. 2016;4(e3):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1017/jan.2015.11>
24. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Kibet N., Tanga C., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Physico-chemical properties of extruded aquafeed pellets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and adult cricket (*Acheta domesticus*) meals. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018;4(1):19-30. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0008>
25. Ottoboni M., Sprangers T., Pinotti L., Baldi A., De Jaeghere W., Eeckhout M. Inclusion of *Hermetia Illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed: process optimisation and impact on in vitro digestibility. *Italian Journal of Animal Science*. 2017;17(2):418-427. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051x.2017.1372698>
26. Okoli C. A guide to conducting a standalone systematic literature review. *Communications of the Association for Information Systems*. 2015;37:879-910. DOI: <https://doi.org/10.17705/1cais.03743>
27. Torracco R. J. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human Resource Development Review*. 2016;15(4):404-428. DOI: <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
28. Yen A. L. Foreword: Why a Journal of Insects as Food and Feed? *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(1):1-2. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2015.x001>
29. Tomberlin J. K., van Huis A. Black soldier fly from pest to «crown jewel» of the insects as feed industry: an historical perspective. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):1-4. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0003>
30. Wang Y. S., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*. 2017;6(10):91. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
31. Fitches E. C., Dickinson M., De Marzo D., Wakefield M. E., Charlton A. C., Hall H. Alternative protein production for animal feed: *Musca domestica* productivity on poultry litter and nutritional quality of processed larval meals. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(2):77-88. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0061>
32. Ganda H., Zannou-Boukari E. T., Kenis M., Chrysostome C. A. A. M., Mensah G. A. Potentials of animal, crop and agri-food wastes for the production of fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(2):59-67. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0064>
33. Ушакова Н. А., Бастраков А. И., Карагодин В. П., Павлов Д. С. Особенности биоконверсии органических отходов личинками мухи *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). *Успехи современной биологии*. 2018;138(2):172-182. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34882931>
- Ushakova N. A., Bastrakov A. I., Karagodin V. P., Pavlov D. S. *Osobennosti biokonversii organicheskikh otkhodov lichinkami mukhi Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). [Specific Features of Bio-

conversion of Organic Waste by *Hermetia illucens* Larvae (*Diptera: Stratiomyidae*, Linnaeus, 1758)]. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2018;138(2):172-182. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34882931>

34. Jozefiak D., Jozefiak A., Kieronczyk B., Rawski M., Swiatkiewicz S., Dlugosz J., Engberg R. M. 1. Insects – A Natural Nutrient Source for Poultry – A Review. *Annals of Animal Science*. 2016;16(2):297-313. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0010>

35. Sprangers T., Ottoboni M., Klootwijk C., Olyn A., Deboosere S., De Meulenaer B., Michiels J., Eeckhout M., De Clercq P., De Smet S. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017;97(8):2594-2600. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>

36. Nekrasov R., Zelenchenkova A., Chabaev M., Ivanov G., Antonov A., Pastukhova N. PSIII-37 Dried Black Soldier Fly larvae as a dietary supplement to the diet of growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2018;96(S_3):314. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.691>

37. Некрасов Р. В., Чабаяев М. Г., Зеленченкова А. А., Бастратов А. И., Ушакова Н. А. Питательные свойства личинок *Hermetia Illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней (*Sus Scrofa Domesticus* Erxleben). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(2):316-325. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.316rus>

Nekrasov R. V., Chabaev M. G., Zelenchenkova A. A., Bastrakov A. I., Ushakova N. A. *Pitatel'nye svoystva lichinok Hermetia Illucens* L. – novogo kormovogo produkta dlya molodnyaka sviney (*Sus Scrofa Domesticus* Erxleben). [Nutritional properties of *Hermetia illucens* L., a new feed product for young pigs (*Sus scrofa domesticus* Erxleben)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2019;54(2):316-325. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.316rus>

38. Straub P., Tanga C. M., Osuga I., Windisch W., Subramanian S. Experimental feeding studies with crickets and locusts on the use of feed mixtures composed of storable feed materials commonly used in livestock production. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;255:114215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114215>

39. Montowska M., Kowalczewski P. L., Rybicka I., Fornal E. Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*. 2019;289:130-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>

40. Mariod A. A. Nutrient Composition of Desert Locust (*Schistocerca gregaria*). *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components*. 2020;257-263. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_18

41. Smets R., Verbinen B., Van De Voorde I., Aerts G., Claes J., Van Der Borgh M. Sequential extraction and characterisation of lipids, proteins, and chitin from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae, prepupae, and pupae. waste and biomass valorization. *Waste Biomass Valorization*. 2020;1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00924-2>

42. Caligiani A., Marseglia A., Leni G., Baldassarre S., Maistrello L., Dossena A., Sforza S. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International*. 2018;105:812-820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>

43. Van Huis A., Oonincx D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2017;37(5):43-56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>

44. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Proximate composition and in vitro protein digestibility of extruded aquafeeds containing *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens* fractions. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018;4(4):275-284. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0089>

45. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Tanga C., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Minerals content of extruded fish feeds containing cricket (*Acheta domesticus*) and black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fractions. *International Aquatic Research*. 2018;10(2):101-113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0191-8>

46. Irungu F. G. Effects of extrusion processing on the physico-chemical and nutritional characteristics of fish feeds containing *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens* meals (Doctoral dissertation). Nakuru: Egerton University, 2017.

47. Alam M. R., Scampicchio M., Angeli S., Ferrentino G. Effect of hot melt extrusion on physical and functional properties of insect based extruded products. *Journal of Food Engineering*. 2019;259:44-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.021>

48. Kinyuru J. N., Konyole S. O., Onyango-Omolo S. A., Kenji G. M., Onyango C. A., Owino V. O., Owuor B. O., Estambale B. B., Roos N. Nutrients, functional properties, storage stability and costing of complementary foods enriched with either termites and fish or commercial micronutrients. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(2):149-158. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0011>

49. Kiiru S. M., Kinyuru J. N., Kiage B. N., Marel A. K. Partial substitution of soy protein isolates with cricket flour during extrusion affects firmness and in vitro protein digestibility. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;6(2):169-177. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0024>

50. Smetana S., Ashtari Larki N., Pernutz C., Franke K., Bindrich U., Toepfl S., Heinz V. Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *Journal of Food Engineering*. 2018;229:83-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.035>

51. Smetana S., Pernutz C., Toepfl S., Heinz V., Van Campenhout L. High-moisture extrusion with insect and soy protein concentrates: cutting properties of meat analogues under insect content and barrel temperature variations. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(1):29-34. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0066>

52. Azzollini D., Derossi A., Fogliano V., Lakemond C. M. M., Severini C. Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018;45:344-353. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.017>

53. Igual M., Garcia-Segovia P., Martinez-Monzo J. Effect of *Acheta domesticus* (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*. 2020;282:110032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110032>

54. Пахомов В. И., Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С., Рухляда А. И., Бабаджанян А. С. Результаты экспериментальных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно пшеницы и биомассу личинок черной львинки. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(1):28-42. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Alferov A. S., Rukhlyada A. I., Babadzhanyan A. S. *Rezultaty eksperimental'nykh issledovaniy ekstrudirovaniya kormov, soderzhashchikh zerno pshenitsy i biomassu lichinok chernoy l'vinki*. [The results of experimental studies of extrusion of feed containing wheat grain and black soldier fly larvae biomass]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):28-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

55. Govorushko S. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;91:436-445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032>

Сведения об авторах

Пахомов Виктор Иванович, доктор техн. наук, зам. директора по науке по механизации и электрификации, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, e-mail: vniptim@gmail.com

Брагинцев Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>, e-mail: sbraginets@mail.ru

✉ **Бахчевников Олег Николаевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Алферов Александр Сергеевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5210-781X>, e-mail: alfa-8303@yandex.ru

Рудой Дмитрий Владимирович, кандидат техн. наук, декан факультета «Агропромышленный», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344010, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>, e-mail: spu-38@donstu.ru

Information about the authors

Viktor I. Pakhomov, DSc in Engineering, Deputy Director for Science of Mechanization and Electrification, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, e-mail: vniptim@gmail.com

Sergey V. Braginets, PhD in Engineering, leading researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>, e-mail: sbraginets@mail.ru

✉ **Oleg N. Bakhchevnikov**, PhD in Engineering, researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Aleksander S. Alferov, PhD in Engineering, researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5210-781X>, e-mail: alfa-8303@yandex.ru

Dvitri V. Rudoy, PhD in Engineering, Dean of Agro-Industrial Department, Don State Technical University, sq. Gagarin, 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344010, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>, e-mail: spu-38@donstu.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.245-252>

УДК 633.13:631.559

**Вегетационный период и урожайность голозерного овса**© 2020. Н. В. Кротова¹✉, Г. А. Баталова¹, Ren Changzhong², Г. П. Журавлева¹¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация,²Байченская академия сельскохозяйственных наук, Байчен, провинция Цзилинь, Китай

Для эффективного решения актуальных селекционных задач необходим хорошо изученный исходный материал. Оценка изучаемых образцов в варьирующих климатических условиях позволяет выделить источники с высокой урожайностью. Представлены результаты оценки 56 сортообразцов овса голозерного различного эколого-географического происхождения по продолжительности периода вегетации. Исследования проведены в 2017-2019 гг. на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах Кировской области. Выявлены существенные различия сортообразцов по срокам созревания. Предложена классификация голозерных образцов по продолжительности вегетационного периода для Волго-Вятского региона. Самыми многочисленными были группы среднеспелых и среднепоздних образцов – 41,1 и 35,7% соответственно, позднеспелые – 17,8%. Весьма ограничен набор раннеспелых сортообразцов (5,4 %). Урожайность голозерных образцов варьировала по годам, уровень был от незначительного до очень высокого ($V = 7,91...91,76\%$). В группе раннеспелых коэффициенты вариации составили 21,47...34,58 % при урожайности 165...330 г/м². Оценка среднеспелых образцов показала в основном высокий и очень высокий уровни вариации урожайности. Исключение составили образцы из Беларуси к-3899 BYAS-154 (7,91 %) и США 15094 MF9521-247 (16,83 %), урожайность которых была 139...161 и 182...244 г/м² соответственно. У среднепоздних и поздних сортообразцов коэффициенты вариации внутри группы составили 21,44...68,36 % и 26,25...68,75 % соответственно. Для использования в селекции рекомендованы образцы среднего срока созревания со стабильной урожайностью: к-3897 BYAS-156, к-3898 BYAS-155 (Беларусь), 15155 MF9016-31 (США).

Ключевые слова: период вегетации, сортообразец, урожайность, коэффициент вариации, классификация, группа спелости

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кротова Н. В., Баталова Г. А., Ren Changzhong, Журавлева Г. П. Вегетационный период и продуктивность голозерного овса. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):245-252.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.245-252>

Поступила: 20.01.2020

Принята к публикации: 29.04.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Growing season and productivity of naked oats© 2020. Nadezhda V. Krotova¹✉, Galina A. Batalova¹, Ren Changzhong², Galina P. Zhuravleva¹¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,²Baicheng Academy of Agricultural Sciences, Baicheng, Jilin, P.R. China

A well-studied source material is required for breeding problems to be successfully solved. Evaluation of samples in varying climatic conditions enables to identify highly productive sources. The results of assessment of 56 naked oat varieties of different ecological-geographical origin by duration of the growing season are presented. The studies were carried out in 2017 - 2019 on the sod-podzolic middle-clay soils of the Kirov region. Considerable differences between variety samples according to periods of ripening have been revealed. Classification of naked oat samples by duration of growing season for Volga-Vyatka region is proposed. The most numerous were the groups of middle season and middle-late samples – 41.1 and 35.7 %, respectively, late samples – 17.8 %. The set of early variety samples was very limited (5.4 %). The productivity of naked oat samples varied by years, variation level changed from insignificant to very high ($V = 7.91...91.76\%$). In the group of early varieties, coefficients of variation were 21.47...34.58 % with productivity of 165...330 g/m². The evaluation of middle season samples showed mainly high and very high levels of variation in productivity. The exception was made by samples of Belarus k-3899 BYAS-154 (7.91 %) and 15094 MF9521-247 (16.83 %) from the USA with productivity of 139...161 and 182...244 g/m², respectively. In middle-late and late variety samples, the coefficients of variation within the group were 21.44...68.36 %, and

26.25...68.75 %, respectively. Middle season samples with sustainable productivity are recommended for use in breeding practice, they are k-3897 BYAS-156, k-3898 BYAS-155 (Belarus), 15155 MF9016-31 (USA).

Keywords: growing season, variety sample, productivity, coefficient of variation, classification, group of ripeness

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. 0528-2019-0093)

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

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

For citation: Krotova N. V., Batalova G. A., Ren Changzhong, Zhuravleva G. P. Growing season and productivity of naked oats. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3): 245-252. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.245-252>

Received: 20.01.2020

Accepted for publication: 29.04.2020

Published online: 23.06.2020

Овес – важнейшая зерновая культура, которая занимает пятое место по распространению в мире. В посевах России, как и в мире, преобладает овес пленчатый, но в последние десятилетия возрастает интерес к голозерному овсу [1]. Овес голозерный (*Avena sativa* subspecies *nudisativa* (Husn.) Rod. et Sold.) вследствие отсутствия пленки более технологичен в переработке, превосходит пленчатый по питательной ценности, содержанию белка, масла и крахмала в зерне [2, 3, 4]. Голозерные формы посевного овса являются, по сути, новой культурой в земледелии. В Российской Федерации начало внедрения сортов голозерного овса в производство относится к 2000 г., когда в Госреестр был включен сорт Тюменский голозерный¹. В настоящее время в Госреестре 14 сортов голозерного овса. Развитие селекции голозерного овса имеет важное значение в повышении качества питания людей и при откорме животных [5].

Для создания новых, адаптивных к разнообразным условиям среды сортов овса, обладающих высоким потенциалом продуктивности и качеством продукции, достаточно скороспелых, требуется хорошо изученный исходный материал [6, 7, 8, 9, 10]. Необходимы сорта, приспособленные к гидротермическим условиям региона, с оптимальной продолжительностью вегетационного периода [11]. Период вегетации овса, особенно его вторая половина – от выметывания до созревания – напрямую зависит от количества осадков [12]. Продолжительность периода вегетации – признак, непосредственно связанный с урожайностью и качеством зерна [13, 14, 15]. Урожайность, в свою очередь, является комплексным показателем пригодности сорта для использования в производстве.

Цель исследований – определить оптимальные величины параметров вегетационного

периода голозерного овса и оценить исходный материал по урожайности.

Материал и методы. Исследования проведены в 2017-2019 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах по предшественнику чистый пар. На делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности изучено 56 сортообразцов овса голозерного коллекции ФИЦ ВИР. Наиболее представительными были коллекции США – 14 образцов (MF8891-2021, MF9224-164, MF9521-247, MF9809-19, MF9018-117, MF9521-214, MF9016-31, MF9116-31, MF9521-462, MF9521-19, MF9116-31, MF9521-281, MF9521-79, MF9620-64), Беларуси – 11 (Гоша, Владыка, Королек, BYAS-154, BYAS-155, BYAS-156, BYAS-157, BYAS-158, BYAS-159, BYAS-160, BYAS-161) и Китая – 10 (15149 местный, PZS-LYM-01, PZS-LYM-02, PZS-LYM-03, PZS-LYM-04, Baiyan N 0.16, BAI YAN 2). По одному образцу изучено из Литвы (LITOVSIJ NAGIJ), Чехии (ABEL), Словакии (TATRAN), Бразилии (UFRGS 106150-3), Канады (AC ERNIE) и Монголии (GKZALON), по два образца из Украины (Визит, Авгол), Польши (VENTURA, 15248 местный) и Германии (Соломон, MOZART), 4 – из Болгарии (A3 BM 0584, A3 BM 0586, A3 BM 0589, Mina). Россия была представлена 6 образцами из Кемеровской (Помор и Гаврош), Московской (КСИ-36-14) и Омской (Прогресс) областей, стандарт – сорт Вятский и образец 358h10 селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Кировская обл.).

Погодные условия 2017 г. несмотря на поздние сроки сева, пониженные температуры и избыточное увлажнение (ГТК в период от посева до созревания 2,27), вызвавшее полегание посевов, удлинение фаз развития и периода вегетации в целом, способствовали формированию высокой урожайности (табл. 1).

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1 «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 516 с.

Таблица 1 – Гидротермический коэффициент (ГТК) периодов вегетации голозерного овса /
Table 1 – The hydrothermal coefficient of the periods of vegetation of naked oats

<i>Период / Period</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2019 г.</i>
Посев-всходы / Sowing-seedlings	8,21	0,79	0,40
Всходы-выметывание / Seedlings-heading	3,25	2,83	1,78
Выметывание-созревание / Heading-ripening	1,86	1,27	1,40
Посев-созревание / Sowing-ripening	2,27	1,66	1,51

В начале вегетации 2018 г. наблюдали неустойчивую по температуре, преимущественно сухую или с небольшими осадками погоду. Июнь характеризовался частыми дождями и низкими температурами, при которых складывались неблагоприятные условия по переувлажнению почвы. В августе наблюдали пониженный температурный фон, отклонение от средней многолетней составило в сторону уменьшения 2,2 °С с осадками около нормы (ГТК 1,66). В 2019 г. период вегетации был растянутым. Появление всходов пришлось на теплую с последующим понижением температуры погоду, с небольшими осадками. Июль-август характеризовались холодной неустойчивой погодой с умеренными или сильными осадками, что привело к удлинению периода налива и созревания, способствовало формированию озерненной метелки.

Наблюдения, оценки и учеты проведены в соответствии с методическими указаниями² и международным классификатором³. Стати-

стическая обработка данных проведена методами вариационного и корреляционного анализов с использованием пакета прикладных программ AGROS 2.07 и табличного процессора Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований в среднем по сортообразцам самый короткий период вегетации «всходы-восковая спелость» (78 дней) отмечен в 2018 году (табл. 2). Варьирование признака по сортообразцам незначительное ($V = 4,22\%$). Период варьировал от 75 дней у образцов к-3893 BYAS-160, к-3892 BYAS-161, к-3894 BYAS-159 (Беларусь), 14945 VENTURA (Польша), к-3890 Соломон (Германия) до 86 дней у образца 358h10 (Кировская обл.). Неустойчивая по температуре, с осадками выше нормы погода мая и июня способствовала увеличению продолжительности периода «всходы-выметывание» (47-56 дней), но теплый и даже жаркий июль сократил следующий период «формирование-налив зерна» (28-31 день).

Таблица 2 – Продолжительность периода вегетации «всходы-восковая спелость» /
Table 2 – Duration of growing period «seedlings-wax ripeness»

<i>Год / Year</i>	<i>Период вегетации «всходы-восковая спелость», дни /</i> <i>Growing period «seedlings-wax ripeness», days</i>	
	<i>среднее / average</i>	<i>варьирование / variation</i>
2017	90	85-103
2018	78	75-86
2019	84	73-91

Исследованиями И. Г. Лоскутова (1987-2000 гг.) показано влияние условий вегетации на варьирование продолжительности отдельных межфазных периодов и в целом периода вегетации сортообразцов овса коллекции ФИЦ ВИР от 79,6-83,2 до 112,5-119,0 дней [2]. Наиболее продолжительный период «всходы-восковая спелость» наблюдали в 2017 году. Он составил в среднем 90 дней и изменялся от 85 у образцов 15090 MF9224-164, 15156 MF9018-117

(США) до 103 дней у 15193 АЗ ВМ 0584, 15195 АЗ ВМ 0586, 15196 АЗ ВМ 0589, 15192 Mina (Болгария). Коэффициент вариации признака был незначительный ($V = 4,91\%$). На продолжительность вегетации коллекционных образцов повлияло обилие осадков и невысокие среднесуточные температуры воздуха в целом за период вегетации. В условиях Красноярского края аналогичные результаты получены для генофонда овса ФИЦ ВИР.

²Методические указания по изучению мировой коллекции ячменя и овса. С-Пб., 2012. 64 с.

³Международный классификатор СЭВ рода *Avena* L., 1984. 41 с.

Период вегетации образцов варьировал от 69 дней в 2014 году до 75 дней в 2016 году [16]. Группу спелости определяли относительно стандарта, раннеспелые генотипы созревали раньше стандарта на 7-11 дней [17].

В 2019 году период «всходы-восковая спелость» изменялся от 73 дней у образцов 15461 Королек (Беларусь), 15094 MF9521-247 (США) до 91 дня у образцов 15501 Визит (Украина), 15224 MF9521-19, 15217 MF9116-31 (США), 15525 BAI YAN 2 (Китай). В среднем по всем сортообразцам он составил 84 дня.

Варьирование продолжительности периода также было незначительным и составило 5,79 %. Обильные осадки и температура ниже климатической нормы в июле-августе стали причиной увеличения продолжительности периода «выметывание-восковая спелость» (37-55 дней) и затянули созревание зерна овса. В основном в коллекции голозерный овес представлен образцами среднеспелой и среднепоздней групп, на их долю приходится 41,1 и 35,7 % соответственно, самая малочисленная группа – раннеспелая (рис.).

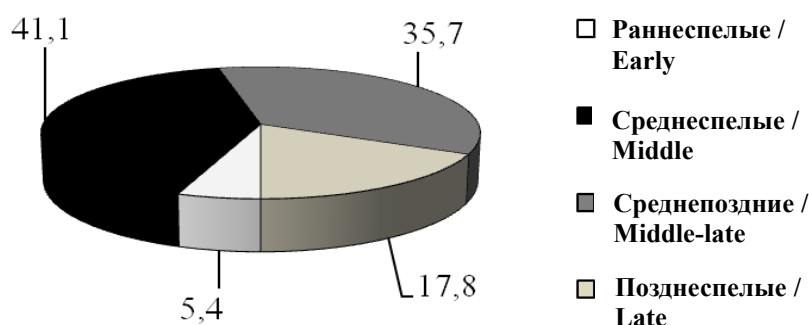


Рис. Распределение сортообразцов овса голозерного по группам спелости, % /
Fig. Distribution of variety samples of naked oat by ripeness groups, %

По результатам исследований 2017-2019 гг. в соответствии с «Международным классификатором СЭВ рода *Avena* L.», с учетом продолжительности вегетационного периода среднеспелого сорта – стандарта Вятский,

уточнена классификация голозерного овса для Волго-Вятского региона по скороспелости: ранние (до 80 дней), среднеспелые (81-84 дня), среднепоздние (85-89 дней), позднеспелые (90 и более дней) (табл. 3).

Таблица 3 – Классификация голозерного овса по скороспелости для Волго-Вятского региона /
Table 3 – Classification of naked oats by earliness of ripening for Volga-Vyatka region

Группа спелости / Ripeness group	Период вегетации, дни / Growing season, days		Количество образцов, шт. / Number of samples, pieces	% к общему числу / % of total number
	среднее / average	варьирование / variation		
Раннеспелые / Early	77	до 80	3	5,4
Среднеспелые / Middle	82	81-84	23	41,1
Среднепоздние / Middle-late	87	85-89	20	35,7
Позднеспелые / Late	92	90 и более / 90 and more	10	17,8
Всего / In total	-	-	56	100,0

При разбивке сортообразцов по срокам созревания варьирование периода вегетации внутри групп также было незначительным (табл. 4).

Корреляционный анализ показал среднюю отрицательную зависимость урожайности от сумм эффективных температур ($r = -0,47$) и осадков ($r = -0,45$) в 2019 г. в период «всхо-

ды-выметывание» и среднюю положительную в период «выметывание-восковая спелость» ($r = 0,43$ и $r = 0,41$ соответственно) (табл. 5). В 2017 г. урожайность образцов была несущественно связана с гидротермическим коэффициентом в период от всходов до восковой спелости. Незначительное отрицательное влияние погодных условий на урожайность

выявлено в 2018 г. В среднем за годы изучения установлено незначительное влияние гидротермических условий произрастания

на урожайность образцов голозерного овса. Это связано с сортовыми особенностями изучаемых образцов.

Таблица 4 – Варьирование периода «всходы-восковая спелость» у сортообразцов голозерного овса в различных по скороспелости группах (2017-2019 гг.) /

Table 4 – Variation of the period «seedlings-wax ripeness» in the variety samples of naked oats in different ripeness groups (2017-2019)

Группа спелости / Ripeness group	Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	в среднем / on average
Раннеспелые / Early	8,23	6,65	2,05	7,37
Среднеспелые / Middle	2,34	2,70	3,10	6,38
Среднепоздние / Middle-late	2,00	5,22	3,68	4,71
Позднеспелые / Late	6,33	4,39	1,75	5,47

Таблица 5 – Корреляционная зависимость урожайности с погодными условиями /

Table 5 – Correlation between yield and weather conditions

Год, показатель / Year, indicator		Период вегетации, дни / growing season, days		
		«всходы-выметывание»/ «seedlings-heading»	«выметывание-восковая спелость»/ «heading-wax ripeness»	«всходы-восковая спелость»/ «seedlings-wax ripeness»
2017	t*	-0,23	-0,26	-0,34
	ОС**	-0,19	0,18	-0,21
	ГТК***	-0,11	0,23	-0,35
2018	t	-0,19	-0,01	-0,12
	ОС	-0,17	-0,15	-0,18
	ГТК	0,18	-0,22	-0,18
2019	t	-0,47	0,43	0,28
	ОС	-0,45	0,41	0,27
	ГТК	-0,17	0,30	0,18
В среднем / On average	t	-0,04	0,27	0,20
	ОС	0,17	0,30	0,39
	ГТК	0,26	0,20	0,38

Примечания: t* – сумма эффективных температур; ОС** – сумма осадков; ГТК*** – гидротермический коэффициент / Note: t* – sum of effective temperatures; ОС** – precipitation total; ГТК*** – hydrothermal coefficient

Урожайность голозерных образцов варьировала по годам, коэффициент варьирования изменялся от незначительного (V = 7,91 %) у образца к-3899 BYAS-154 (Беларусь) до очень высокого (V = 91,76 %) у образца из Китая к-2523 PZS-LYM-02. В группе раннеспелых сортообразцов коэффициент вариации составил 21,47...34,58 % (табл. 6).

По результатам оценки фактически все среднеспелые сортообразцы имели высокий и очень высокий уровни вариации урожайности по годам: 15156 MF9018-117, 15217 MF9116-31, 15097 MF9620-64 (США); 15120 ГОША, к-3894 BYAS-159 (Беларусь); 15304 АС ERNIE (Канада). Исключение составили

образцы из Беларуси к-3899 BYAS-154 (7,91 %) и США 15094 MF9521-247 (16,83 %). Урожайность данных образцов составила 139...161 и 182...244 г/м² соответственно.

Среднепоздние образцы голозерного овса сформировали урожайность от 78 г – линия 358h10 (Россия, Кировская обл.) до 454 г – образец из Словакии TATRA в 2019 г. Коэффициент вариации урожайности внутри группы 21,44...68,36 %.

В группе позднеспелых сортообразцов урожайность изменялась от 94 г (15224 MF9521-19 из США) в 2018 г. до 444 г (к-2524 PZS-LYM-03 из Китая) в 2017 г. Варьирование урожайности внутри группы 26,25...68,75 %.

Таблица 6 – Урожайность голозерного овса в различных по спелости группах, г/м² (2017-2019 гг.) /
 Table 6 – Productivity of naked oats in different ripeness groups, g/m² (2017-2019)

Название / Name	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)
Раннеспелые / Early				
Местный / Local	330	165	228	34,58
MF9224-164	278	232	179	21,47
Среднеспелые / Middle				
ГОША	303	184	198	28,52
BYAS-154	161	139	159	7,91
BYAS-156	458	213	345	36,21
BYAS-155	489	218	396	37,46
BYAS-159	344	113	62	86,83
АС ERNIE	239	201	129	29,53
MF9521-247	244	182	187	16,83
MF9016-31	411	207	207	42,83
MF9018-117	189	148	239	23,78
MF9116-31	222	141	213	23,10
MF9620-64	319	62	92	89,13
PZS-LYM-02	256	75	44	91,76
ст. Вятский / standard Vyatsky	342	179	240	32,47
Среднепоздние / Middle-late				
358h10	253	175	78	48,26
TATRAN	133	177	454	68,36
Позднеспелые / Late				
MOZART	244	143	431	53,62
PZS-LYM-03	444	161	184	59,76

В среднем за три года исследований урожайность стабильно выше стандарта Вятский имели образцы среднего срока созревания из Беларуси к-3897 BYAS-156 (213...458 г/м²), к-3898 BYAS-155 (218...489 г/м²) и США 15155 MF9016-31 (207...411 г/м²).

Выводы. Таким образом, по результатам исследований в 2017-2019 гг. получена классификация сортообразцов голозерного овса

по срокам созревания для условий Волго-Вятского региона: раннеспелые (до 80 дней); среднеспелые (81-84 дня); среднепоздние (85-89 дней); позднеспелые (90 и более дней). Выделены сортообразцы – источники со стабильной урожайностью в различных погодных условиях: BYAS-156, BYAS-155 (Беларусь), MF9016-31 (США).

Список литературы

1. Баталова Г. А. Селекционная оценка образцов голозерного овса в условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(2 (57)):4-11. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.57.2.04-11>
2. Лоскутов И. Г. Овес (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. СПб.: ГНЦ РФ ВИР, 2007. 335 с.
3. Šubarić D., Babić J., Lalić A., Ačkar Đ., Kopjar M. Isolation and Characterisation of Starch from Different Barley and Oat Varieties. Czech Journal of Food Sciens (CJFC). 2011; 29(4):354-360. URL: <http://www.agriculturejournals.cz/web/cjfs.htm>
4. Полонский В. И., Суринов Н. А., Герасимов С. А., Липшин А. Г., Сумина А. В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(6):53-60. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.541>
5. Баталова Г. А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса. Зернобобовые и крупяные культуры. 2014;(2(10)):64-69. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21637260>

6. Peltonen-Sainio P., Kirkkary A. M., Jauhianen L. Characterising strengths, weakness, opportunities and threats in producing naked oat as a novel crop for northern growing conditions. *Agricultural and Food Science*. 2004;13(1-2):212-228. URL: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/456372>
7. Аверьясова Ю. С., Фомина М. Н. Перспективы создания скороспелых сортов овса голозерного типа в зоне Северного Зауралья. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2015;(1(242)):44-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23059907>
8. Войцукская Н. П., Лоскутов И. Г. Селекционная ценность европейских образцов овса в условиях Кубанской опытной станции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):52-59. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-52-58>
9. Сидоренко В. С., Зотиков В. И., Старикова Ж. В., Костромичева В. А., Наумкин Д. В., Горьков А. А., Тугарева Ф. В., Вилонов С. Д. Селекция голозерного овса в условиях Центральной России. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;(4(28)):82-89. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11054>
10. Баталова Г. А., Лоскутов И. Г., Шевченко С. Н., Жуйкова О. А., Кротова Н. В., Тулякова М. В. Селекция овса голозерного сорта Вировец. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019;(4):8-11. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201948-11>
11. Комарова Г. Н., Сорокина А. В. Результаты изучения коллекционного материала для селекции овса. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2014;(3):49-55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21732883>
12. Родионова Н. А., Солдатов В. Н., Мережко В. Н., Ярош Н. П., Кобылянский В. Д. Культурная флора. Овес. Под ред. В. Д. Кобылянского, В. Н. Солдатова. М.: Колос, 1994. 367 с.
13. Гончаров Н. П., Гончаров П. Л. Методические основы селекции растений. РАН, Сиб. отд-ние, Ин-т цитологии и генетики. 3-е изд., испр. и доп. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. 439 с.
14. Сотник А. Я. Оценка сортов овса по урожайности и вегетационному периоду в условиях Приобской лесостепи. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2018;48(1):51-56. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-1-7>
15. Старцев А. А. Продолжительность вегетационного периода у сортов овса из коллекции ВИР. *Вестник современной науки*. 2016;(1(13)):48-50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25497425>
16. Липшин А. Г., Герасимов С. А. Источники генофонда овса коллекции ВИР для селекции в Восточной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2017;(2):16-21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32358071>
17. Сотник А. Я. Продуктивность и адаптивность сортов овса в условиях Приобской лесостепи. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2017;(47(1)):38-43. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29035872>

References

1. Batalova G. A. *Seleksionnaya otsenka obraztsov golozernogo ovsa v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona*. [Breeding evaluation of sources of naked oats under conditions of Volga-Vyatka region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(2 (57)):4-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.57.2.04-11>
2. Loskutov I. G. *Oves (Avena L.). Rasprostraneniye, sistematika, evolyutsiya i seleksionnaya tsennost': monografiya*. [Oat (Avena L.). Distribution, taxonomy, evolution and breeding value: monograph]. Saint-Petersburg: GNTs RF VIR, 2007. 335 p.
3. Šubarić D., Babić J., Lalić A., Ačkar Đ., Kopjar M. Isolation and Characterisation of Starch from Different Barley and Oat Varieties. *Czech Journal of Food Sciences (CJFC)*. 2011; 29(4):354-360. URL: <http://www.agriculturejournals.cz/web/cjfs.htm>
4. Polonskiy V. I., Surin N. A., Gerasimov S. A., Lipshin A. G., Sumina A. V., Zyute S. *Izuchenie sortov ovsa (Avena sativa L.) razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya po kachestvu zerna i produktivnosti*. [The study of oat varieties (Avena sativa L.) of various geographical origin for grain quality and productivity]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(6):53-60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.541>
5. Batalova G. A. *Perspektivy i rezul'taty seleksii golozernogo ovsa*. [Perspectives and results of naked oats breeding]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2014;2(10):64-69. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21637260>
6. Peltonen-Sainio P., Kirkkary A. M., Jauhianen L. Characterising strengths, weakness, opportunities and threats in producing naked oat as a novel crop for northern growing conditions. *Agricultural and Food Science*. 2004;13(1-2):212-228. URL: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/456372>
7. Aver'yasova Yu. S., Fomina M. N. *Perspektivy sozdaniya skorospelykh sortov ovsa golozernogo tipa v zone Severnogo Zaural'ya*. [Prospects for developing early maturing varieties of naked oats in the Trans-Ural zone]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2015;(1(242)):44-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23059907>
8. Voytsutskaya N. P., Loskutov I. G. *Seleksionnaya tsennost' evropeyskikh obraztsov ovsa v usloviyakh Kubanskoj opytnoy stantsii VIR*. [Breeding value of european oat accessions in the environments of Kuban experi-

ment station of VIR]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2019;180(1):52-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-52-58>

9. Sidorenko V. S., Zotikov V. I., Starikova Zh. V., Kostromicheva V. A., Naumkin D. V., Gor'kov A. A., Tugareva F. V., Vilyunov S. D. *Seleksiya golozernogo ovsa v usloviyakh Tsentral'noy Rossii*. [Selection of naked oats in the conditions of Central Russia]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Зернобобовые и крупяные культуры. 2018;(4(28)):82-89. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11054>

10. Batalova G. A., Loskutov I. G., Shevchenko S. N., Zhuykova O. A., Krotova N. V., Tulyakova M. V. *Seleksiya ovsa golozernogo sorta Virovets*. [To question about breeding naked oat Virovets]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2019;(4):8-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201948-11>

11. Komarova G. N., Sorokina A. V. *Rezultaty izucheniya kollektсионного материала dlya seleksii ovsa*. [Results of studying collection material for oat breeding]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2014;(3):49-55. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21732883>

12. Rodionova N. A., Soldatov V. N., Merezhko V. N., Yarosh N. P., Kobylanskiy V. D. *Kul'turnaya flora. Oves*. [Cultivated flora. Oats]. *Pod red. V. D. Kobylanskogo, V. N. Soldatova*. Moscow: Kolos, 1994. 367 p.

13. Goncharov N. P., Goncharov P. L. *Metodicheskie osnovy seleksii rasteniy*. [Methodological principles of plant breeding]. *RAN, Sib. otd-nie, In-t tsitologii i genetiki. 3-e izd., ispr. i dop.* Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2018. 439 p.

14. Sotnik A. Ya. *Otsenka sortov ovsa po urozhaynosti i vegetatsionnomu periodu v usloviyakh Priobskoy lesostepi*. [Oat cultivars estimation on yield and vegetation period]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2018;48(1):51-56. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-1-7>

15. Startsev A. A. *Prodolzhitel'nost' vegetatsionnogo perioda u sortov ovsa iz kolleksii VIR*. [The duration of the growing season in varieties of oats from the VIR collection]. *Vestnik sovremennoy nauki*. 2016;(1(13)):48-50. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25497425>

16. Lipshin A. G., Gerasimov S. A. *Istochniki genofonda ovsa kolleksii VIR dlya seleksii v Vostochnoy Sibiri*. [The sources of the gene pool of oats of VIR collection for selection in Eastern Siberia]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2017;(2):16-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32358071>

17. Sotnik A. Ya. *Produktivnost' i adaptivnost' sortov ovsa v usloviyakh Priobskoy lesostepi*. [Productivity and adaptability of spring oats under conditions of the forest-steppe areas near the Ob]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2017;(47(1)):38-43. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29035872>

Сведения об авторах

✉ **Кротова Надежда Викторовна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории селекции овса, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1355-083X>, e-mail: nadja.1979@yandex.ru

Баталова Галина Аркадьевна, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, зам. директора, 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/0000-0002-3491-499X>

Ren Changzhong, иностранный член РАН, президент Байченской академии сельскохозяйственных наук, ул. Санье Руд, 17, провинция Цилинь, Байчен, Китай, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9523-2319>

Журавлева Галина Павловна, младший научный сотрудник лаборатории селекции овса, 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

Information about the authors

✉ **Nadezhda V. Krotova**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Oats Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166-a, Lenin Street, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1355-083X>, e-mail: nadja.1979@yandex.ru

Galina A. Batalova, DSc in Agricultural Science, professor, academician of RAS, chief researcher, deputy director, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166-a, Lenin Street, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

Ren Changzhong, foreign member of RAS, President of Baicheng Academy of Agricultural Sciences, Sanhe Road, 17, Baicheng, Jilin, China, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9523-2319>

Galina P. Zhuravleva, junior researcher, the Laboratory of Oats Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166-a, Lenin Street, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития

© 2020. О. С. Амунова , Л. В. Волкова

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

Изучены 8 исходных форм и 16 гибридных популяций F_2 яровой пшеницы урожая 2019 года для определения уровня засухоустойчивости методом проращивания семян в течение 5 суток в растворе сахарозы. Влияние искусственно созданной засухи на проростки оказалось весьма существенным: общее снижение всхожести семян родителей и гибридов составило 16,0 и 16,7 % соответственно, числа зародышевых корней – 19,3 и 17,4 %, массы проростка – 67,1 и 70,2 %. В стрессовых условиях показатель соотношения массы корней и ростков (индекс RSR) по сравнению с контролем увеличился в среднем с 0,92 до 1,42 у сортов, с 0,86 до 1,68 у гибридов. Отмечена высокая сортовая специфичность как абсолютных значений признаков в контроле и опыте, так и реакции на стресс. По числу зародышевых корней в контроле преимущество имел сорт NOS Norko (Германия), по массе проростка – Карабалыкская 91 (Казахстан). Достоверно высокие значения индекса RSR в контроле и опыте отмечены у сорта Jahuara F-77 (Мексика). Отсутствием реакции на засуху по всхожести семян характеризовался сорт Kitt (США), по числу зародышевых корней – сорта Jahuara F-77 (Мексика) и Klein Vencedor (Аргентина). На основе анализа общей и специфической комбинационной способности родительских сортов выделены 8 перспективных гибридных комбинаций. Высокий гетерозисный эффект, выраженный увеличением среднего значения признака у гибридов по отношению к родителям, наблюдали у большинства гибридных комбинаций по параметру «масса проростка», в комбинации Эритроспермум 2945 x NOS Norko – по числу зародышевых корней. Влияние материнских и отцовских компонентов, а также их взаимодействия, на всхожесть семян гибридов F_2 было незначимым (коэффициент наследования $h^2 = 0,04 \dots 0,22$). Вклад родительских сортов в другие параметры в контроле был достоверно высоким ($F_{\text{факт}} > F_{05}$), за исключением влияния отцовских форм на массу проростка. Значения общих коэффициентов наследуемости числа корней и RSR в нормальных условиях ($h^2_0 = 0,80 \dots 0,82$) свидетельствуют о том, что отбор по данным параметрам может быть высокоэффективным. В условиях искусственно созданной засухи наиболее результативным будет отбор по параметру «сухая масса проростка», поскольку вклад материнских компонентов на число зародышевых корней и отцовских на показатель RSR незначим.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., исходная форма, гибрид, проросток, комбинационная способность, коэффициент наследуемости

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

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

Поступила: 02.03.2020

Принята к публикации: 30.04.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Genetic and statistical analysis of the combining ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development

© 2020. Oksana S. Amunova , Lyudmila V. Volkova

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

Eight original forms and 16 hybrid populations of F_2 spring wheat of the 2019 yield were studied to determine the level of drought resistance by sprouting seeds in a sucrose solution during 5 days. The effect of artificially created drought on seedlings was very significant: the overall decrease in seed germination in parents and hybrids was 16.0 and 16.7 %, respectively, the number of seminal roots – 19.3 and 17.4 %, the weight of the seedling – 67.1 and 70.2 %. Under stressful conditions, the root-shoot ratio (RSR index) increased on average from 0.92 to 1.42 in varieties and from 0.86 to 1.68 in hybrids. High varietal specificity of both absolute values of traits in the control and the experiment, as well as the response to stress, was noted. By the number of seminal roots in the control, the NOS Norko variety (Germany) had the advantage, and by the weight of the seedling – Karabalykskaya 91 (Kazakhstan). Significantly high values of the RSR index in the control and the experiment were observed in the Jahuara F-77 variety (Mexico). The Kitt variety (USA) was characterized by lack of response to drought of seed germination. The Jahuara F-77 (Mexico) and Klein Vencedor (Argentina) varieties were characterized by lack of response to drought by the number of seminal roots. Based on the analysis of the general and specific combinational

ability of parent varieties, 8 promising hybrid combinations were identified. A high heterosis effect, expressed by an increase in the average value of the trait in hybrids relative to parents, was observed in most hybrid combinations by the parameter "seedling mass", in the combination of *Erythrospermum* 2945 x NOS Norko – by the number of seminal roots. The influence of maternal and paternal components as well, as their interaction, on the germination of F_2 hybrids seeds was insignificant (the inheritance coefficient $h_0^2 = 0.04...0.22$). The contribution of parent varieties to other parameters in the control was significantly high ($F_{fact} > F_{0.5}$), except for the influence of paternal forms on the weight of the seedling. The values of the general heritability coefficients of the number of roots and RSR under normal conditions ($h_0^2 = 0.80...0.82$) indicate that selection by these parameters can be highly effective. In artificially created drought, the most efficient will be the selection by the "dry weight of seedling" parameter, since the contribution of maternal components in the number of seminal roots and paternal components to the RSR index is insignificant.

Key words: *Triticum aestivum* L., original form, hybrid, seedling, combining ability, heritability coefficients

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0093).

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

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

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

Received: 02.03.2020

Accepted for publication: 30.04.2020

Published online: 23.06.2020

Засуха является одним из наиболее комплексных и разрушительных абиотических стрессоров. В последние годы отмечается тенденция к увеличению частоты и продолжительности засух как ранневесенних, так и устойчивых. Существует много механизмов приспособления к дефициту влаги в зависимости от генотипа и экотипа сорта (усиление поглощения воды из глубоких слоев почвы, снижение транспирационных потерь, приобретение «ксероморфности» и т. д.), которые проявляются в онтогенезе (по фазам развития) в процессе дифференциальной активности генов. В настоящий момент актуальность приобретают работы по фенотайпину (расчленению) признака засухоустойчивости на элементарные компоненты [1].

Яровая мягкая пшеница (*T. aestivum* L.) характеризуется относительно слабым развитием корневой системы на начальных этапах развития, что делает ее очень чувствительной к дефициту влаги в почве [2, 3]. В период прорастания в условиях недостаточного увлажнения, особенно в сочетании с высокой температурой, увеличивается интенсивность дыхания семян и расходование питательных веществ эндосперма. Семена сильно истощаются, плесневеют, теряют всхожесть. Жизнеспособность проросших семян снижается, что приводит к значительной изреженности, а иногда и полной гибели посевов, поражению грибными болезнями, повреждению вредителями. Для решения этой проблемы необходимо создавать сорта с высокой полевой засухоустойчивостью, особенно до колошения [4].

Оценка уровня засухоустойчивости в поле требует больших затрат и многолетних

наблюдений, поэтому наиболее приемлемым способом оценки засухоустойчивости растений, апробированным многими исследователями, является способ проращивания зерна в растворе сахарозы [5, 6]. В ювенильный период развития организмы проявляют наибольшую чувствительность к стрессору, а различия, проявляющиеся между сортами, сохраняются у взрослых растений [7].

Для создания устойчивых сортов методами традиционной рекомбинантной селекции необходимо, прежде всего, сфокусировать внимание на двух задачах. Во-первых, получить информацию о донорах и источниках засухоустойчивости для вовлечения их в гибридизацию [8, 9, 10]; во-вторых, иметь возможность эффективного отбора генотипов, которые способны обеспечить стабильный режим обмена веществ в изменяющихся гидротермических условиях [11, 12]. Для этого нужно выделить элементы, которые хорошо проявляются и наследуются на начальных этапах развития. При оценке воздействия засухи на растения в ювенильный период развития ключевую роль могут играть такие морфологические и физиологические признаки, как всхожесть семян, число зародышевых корней, масса проростка. Многие исследователи особое внимание уделяют развитию первичной корневой системы яровой пшеницы [13, 14, 15].

Цель исследований – дать характеристику сортов яровой пшеницы по уровню засухоустойчивости в ювенильный период развития растений, определить их общую (ОКС) и специфическую (СКС) комбинационную способность, на основе коэффициентов наследуемости физиологических и морфологических

признаков проростков прогнозировать эффективность отборов на устойчивость к ранневесенней засухе.

Материал и методы. Исследования проведены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока на яровой пшенице урожая 2019 года. Объектом исследования служили 8 родительских сортов и 16 гибридных комбинаций F_2 (по зерну), полученные с их участием методом полных топ-кроссов. В качестве отцовских и материнских форм использовали сорта различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ФИЦ ВИР, которые, согласно интегральной оценке уровня засухоустойчивости в фазу проростков и кластерному анализу [16], находились в отдаленных кластерах.

Засухоустойчивость исходных форм и гибридов определяли по методике Н. Н. Кожушко¹. Здоровые, нормально выполненные семена каждого образца проращивали в чашках Петри (выборка из 30 семян, повторность трехкратная) в термостате при температуре 20...21 °C в течение 5 суток. В контроле использовали дистиллированную воду, в опыте создали имитацию почвенной засухи раствором сахарозы концентрацией 74,45 г/л (соответствует осмотическому давлению 9 атм.). У изучаемых генотипов в обоих вариантах исследования определяли всхожесть семян, число зародышевых корней, сухую массу проростков, соотношение сухой массы корней и ростков (индекс Root-Shoot Ratio (RSR)). Для оценки вклада генотипа (фактор А), влияния условий проращивания (фактор В) в изучаемые признаки у сортов и гибридов, а также степени влияния родительских компонентов (h^2_A , h^2_B , h^2_{AB}) в выраженность признаков у гибридов, использовали двухфакторный дисперсионный анализ. Общий коэффициент наследуемости (h^2) рассчитывали по методике Н. А. Плохинского² как долю генетической изменчивости в общей вариабельности признака. Оценку эффектов общей и специфической комбинационной способности (ОКС и СКС) родительских форм проводили по методическим рекомендациям В. Г. Вольфа³.

Результаты и их обсуждение. Искусственно созданная засуха существенно повлияла на всхожесть семян у большинства

родительских сортов ($НСР_{05}$ по фактору В = 5,8%; $F_{факт} = 25,6$) – общее снижение параметра по отношению к контролю составило 16,0 %. Обнаружена высокая сортовая специфичность ответа генотипов на стресс – от повышения всхожести (на 2,4 % к контролю) у сорта Kitt до значительного снижения параметра (на 40,0 %) у сорта Карабалыкская 91. Отмечено, что материнские формы сильнее, чем отцовские, реагировали на засуху: снижение составило 21,1 и 10,9% соответственно. Генотипические различия по всхожести семян были достоверными ($НСР_{05}$ по фактору А) = 11,7 %; $F_{факт} = 6,06$). Высокими абсолютными значениями всхожести наряду с низкой чувствительностью к засухе характеризовалась отцовская форма Kitt (табл. 1).

В контрольном варианте исследования наибольшее число зародышевых корней в перерасчете на 1 проросток выявлено у сорта NOS Norko (5,08 шт.), в опытном – у сорта Jahuara F-77 (4,10 шт.). Общее снижение показателя в ответ на осмотический стресс было достоверным ($НСР_{05}$ по фактору В = 0,25 шт.; $F_{факт} = 55,0$) и составило в среднем 0,9 шт., или 19,3 %. Материнские формы реагировали на стресс сильнее (-25,8 %), чем отцовские (-12,8 %). Устойчивостью к засухе по числу зародышевых корней характеризовались сорта Klein Vencedor и Jahuara F-77 (незначимое снижение на 5,4...5,7 %).

Особенно сильно стрессовый фактор повлиял на массу проростка ($НСР_{05}$ по фактору В = 0,53 мг; $F_{факт} = 548,60$). Снижение показателя у всех без исключения генотипов было достоверным и варьировало в пределах от 48,4 до 77,3 %, а среднее по опыту снижение массы проростка составило 67,1 %. Наибольшей чувствительностью к засухе по этому признаку характеризовалась материнская форма Воронежская 8, а наибольшей устойчивостью к данному стрессору – сорта Симбирцит и Klein Vencedor. Если судить по абсолютным значениям массы проростка, показанным в контроле и косвенно характеризующим потенциальную продуктивность сорта [17], то можно выделить родительскую форму Карабалыкская 91 с максимальным значением данного параметра (11,69 мг).

¹Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Л.: ВИР, 1988. С. 10-24.

²Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М., «Колос», 1969. 256 с.

³Вольф В. Г., Литун П. П., Хавелова А. В., Кузьменко Р. И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. 76 с.

Таблица 1 – Характеристика родительских сортов по физиологическим и морфометрическим параметрам проростков в нормальных и стрессовых условиях /
Table 1 – Characteristics of parent varieties by physiological and morphometric parameters of seedlings under normal and stressful conditions

<i>Исходная форма, № по каталогу ВИР, происхождение /</i> <i>Original form, VIR Catalogue No, Origin</i>	<i>Всхо- жесть, % /</i> <i>Germination, %</i>	<i>Число зародыше- вых корней, шт. /</i> <i>The number of em- bryonic roots, pcs</i>	<i>Сухая масса проростка, мг /</i> <i>Dry weight of the seedling, mg</i>	<i>RSR</i>
♀ Симбирцит, к-64548, Россия, Ульяновская обл. /	72,2	4,15	5,85	0,76
♀ Simbircit, к-64548, Russia	55,6*	3,57*	3,01*	0,86
♀ Карабалыкская 91, к-65266, Казахстан /	94,4	4,79	11,69	0,81
♀ Karabalykskaya 91, к-65266, Kazakhstan	56,7*	3,78*	3,16*	1,54*
♀ Эритроспермум 2945, к-57712, Россия, Саратовская обл. /	85,6	4,74	8,47	0,83
♀ Erythrospermum 2945, к-57712, Russia	76,7*	3,14*	2,13*	1,25*
♀ Воронежская 8, к-57115, Россия, Воронежская обл. /	98,9	4,66	8,98	0,94
♀ Voronezhskaya 8, к-57115, Russia	88,9*	3,05*	2,04*	1,54*
♂ Jahuara F-77, к-62068, Мексика /	97,8	4,35	10,62	1,26
♂ Jahuara F-77, к-62068, Mexico	78,9*	4,10	3,82*	2,21*
♂ NOS Norko, к-44967, Германия /	93,3	5,08	8,55	0,90
♂ NOS Norko, к-44967, Germany	80,0*	3,63*	2,43*	1,03
♂ Kitt, к-54849, США /	92,2	4,13	8,75	1,00
♂ Kitt, к-54849, USA	94,4	3,66*	2,26*	1,49*
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина /	88,9	4,24	9,18	0,84
♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	78,0*	4,01	4,29*	1,48*
Среднее в опыте (n = 8) /	90,5	4,52	9,01	0,92
The average value in the experience (n = 8)	76,1*	3,62*	2,89	1,42*
Коэффициент вариации (V, %) /	9,4	7,8	18,9	17,2
Coefficient of variation (V, %)	18,2	10,3	32,7	39,2
HCP ₀₅ (фактор A) / LSD ₀₅ (factor A)	11,7	-	1,07	0,26
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)	5,8	0,25	0,53	0,13

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм.; * – опытные величины значительно отличаются от контрольных, $p \leq 0,05$ /

Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at.; * – experimental values are significantly different from the control, $p \leq 0.05$

Важной адаптивной реакцией растительного организма на условия среды является перераспределение его ресурсов между надземной и подземной частями (индекс RSR). В нормальных условиях основная часть пластических веществ обычно переносится в надземные органы. При дефиците ресурсов, как правило, наблюдается увеличение удельного веса корней, связанное с ингибированием роста побега и одновременным усилением притока ассимилятов к корням, что обусловлено множественной гормональной регуляцией [18]. Общая реакция изучаемых сортов на осмотический стресс, выраженная повышением индекса RSR в среднем с 0,92 до 1,42 (на 54,1 %) была статистически значимой ($HCP_{05} = 0,13$; $F_{факт} = 62,39$). Максимальное повышение пока-

зателя отмечено у сорта Карабалыкская 91 (на 90,1 %). Значимых изменений в перераспределении биомассы между корнем и ростком не выявлено у сортов Симбирцит и NOS Norko. Наибольшее значение индекса RSR как в контроле, так и в опыте отмечено у сорта Jahuara F-77, наименьшее – у сорта Симбирцит.

Как известно, экспрессивность генов, отвечающих за устойчивость к дефициту воды в фазе проростков («ювенильных генов»), проявляется по мере возрастания стрессовой нагрузки. В нашем случае возрастание амплитуды изменчивости межсортовых значений изучаемых признаков в опыте ($V = 10,3...39,2$ %) по сравнению с контролем ($V = 7,8...18,9$ %) говорит об усилении адаптивного ответа на стрессовые воздействия у отдельных гено-

типов. Особенно сильные генотипические различия в опыте наблюдали по признакам «сухая масса проростка» и «RSR», что свидетельствует о высокой информативности этих показателей и позволяет более точно ранжировать исходные формы по степени устойчивости к стрессору.

В гибридных комбинациях F_2 , полученных с участием вышеописанных сортов, средняя всхожесть семян в контрольном и опытном вариантах исследования соответствовала 94,7 и 78,9 %. Эти показатели незначительно превышали соответствующие средние значения исходных форм. Общее снижение всхожести в ответ на стресс у гибридов составило 16,7 %, при этом минимальное снижение отмечено в комбинации Карабалыкская 91 х Jahuara F-77 (7,3 %), максимальное – в комбинации Карабалыкская 91 х Kitt (32,7 %). Коэффициент межсортового варьирования всхожести (V , %) в гибридных комбинациях был значительно ниже, чем аналогичный показатель у родительских сортов, и составил 2,6 % в контроле и 9,4 % в опыте.

Показатель числа корешков у гибридов в контроле в среднем был равен 4,66 шт. на 1 проросток, с размахом изменчивости в зависимости от комбинации от 4,12 до 5,05 шт. ($V = 5,0$ %), т. е. практически не выходил за пределы значений родителей. В условиях, имитирующих почвенную засуху, гибриды, как правило, характеризовались большим, чем исходные сорта, числом корней (среднее значение 3,84 шт., лимиты 3,13...4,99 шт.), что делает возможным проведение отборов трансгрессивных форм в комбинациях Эритроспермум 2945 х NOS Norko, Симбирцит х NOS Norko, Симбирцит х Jahuara. Что касается степени чувствительности к засухе, то наблюдалось большое разнообразие реакций гибридных популяций – от снижения показателя (на 9,5...33,1 %) до его повышения (на 3,7...4,4 %). Высокий адаптивный ответ, выраженный повышением числа корней в опытном варианте, наблюдали в двух комбинациях: Симбирцит х Jahuara F-77 и Эритроспермум 2945 х NOS Norko, причем в последней комбинации оба родителя отличались низким уровнем засухоустойчивости по параметру «число зародышевых корней».

У гибридов F_2 отмечен высокий положительный сдвиг среднего значения параметра «сухая масса проростка» по сравнению с исходными формами. Данный показатель

в контрольном и опытном вариантах исследования соответствовал в среднем 12,03 и 3,55 мг, средняя прибавка к родителям составила 3,02 мг (33,5 %) и 0,66 мг (22,8 %). Таким образом, в поколении F_2 по массе проростка наблюдали резко выраженный гетерозисный эффект. Выделены перспективные по данному признаку образцы: в нормальных условиях – Воронежская 8 х Jahuara F-77 и Эритроспермум 2945 х Klein Vencedor, в условиях осмотического стресса – Симбирцит х Nos Norko и Воронежская 8 х Nos Norko. Реакция на недостаток воды, выраженная процентом снижения биомассы проростка в опыте, была сильной у всех гибридных комбинаций (61,0...78,3%), минимум отмечен в комбинации Воронежская 8 х Nos Norko.

Показатель весового соотношения корней и ростков (индекс RSR) у гибридов в контроле был на 6,5 % ниже аналогичного показателя у родителей и составил в среднем 0,86. Размах изменчивости признака в зависимости от комбинации находился в пределах от 0,69 до 1,10. Это означает, что большая часть пластических веществ у гибридов, также как у родителей, в нормальных условиях направлялась на формирование надземной части проростка. Под влиянием стрессора значение удельного веса корней у гибридов значительно увеличилось по сравнению с исходными сортами – в среднем до 1,68 (+95 %), лимиты значений составили 1,02...2,20. Более выраженная адаптивная реакция на засуху у гибридов F_2 по индексу RSR может быть обусловлена наследованием от родителей компенсационного комплекса благоприятных генов.

У гибридов F_2 в связи с их высокой гетерозиготностью генотипическое и фенотипическое разнообразие внутри популяций было значительно выше, чем у исходных форм, поэтому различия между комбинациями выразились слабее (в контроле $V = 5,0$...12,8 %, в опыте $V = 9,4$...21,4 %). Однако необходимо отметить, что общая тенденция к увеличению межсортового варьирования под влиянием стрессора подтверждалась и в гибридных популяциях.

Применение генетико-статистических характеристик позволяет анализировать генетическую структуру гибридных популяций, оценивать селекционную ценность критериев, повышать результативность отборов в ранних поколениях. Среди методов оценки донорских свойств сорта по количественным признакам

наиболее изученной является система оценок по общей комбинационной способности (ОКС). Для выявления эффективных источников устойчивости к ранневесенней засухе

определяли ОКС сортов на основе топкроссных скрещиваний (4х4). Достоверность различий устанавливали относительно среднего значения ОКС, равного 0 (табл. 2).

Таблица 2 – Оценка эффектов ОКС исходных форм мягкой яровой пшеницы в нормальных и стрессовых условиях /

Table 2 – Evaluation of the effects of general combining ability (GCA) of spring soft wheat original forms under normal and stressful conditions

Исходная форма, № по каталогу ВИР, происхождение / Original form, VIR Catalogue No, Origin	Всхожесть / Germination	Число зародышевых корней / The number of embryonic roots	Сухая масса проростка / Dry weight of the seedling	RSR
♀ Симбирцит, к-64548, Россия, Ульяновская обл. / ♀ Simbircit, к-64548, Russia	0,21 1,37	-0,18 0,12	-0,60 0,27*	0,06* 0,26*
♀ Карабалыкская 91, к-65266, Казахстан / ♀ Karabalykская 91, к-65266, Kazakhstan	-1,97 -5,75	0,01 -0,12	-0,42 -0,50	-0,09 0,19
♀ Эритроспермум 2945, к-57712, Россия, Саратовская обл. / ♀ Erythrospermum 2945, к-57712, Russia	2,51* 4,41	0,08* -0,03	0,94* -0,01	0,04* -0,24
♀ Воронежская 8, к-57115, Россия, Воронежская обл. / ♀ Voronezhская 8, к-57115, Russia	-0,75 -0,03	0,09* 0,02	0,07 0,24*	-0,01 -0,20
♂ Jahuara F-77, к-62068, Мексика / ♂ Jahuara F-77, к-62068, Mexico	-0,33 3,03	-0,05 0,20*	0,21 0,07	0,10* 0,05
♂ NOS Norko, к-44967, Германия / ♂ NOS Norko, к-44967, Germany	-0,61 -2,95	0,20* 0,29*	0,15 0,48*	-0,05 -0,06
♂ Kitt, к-54849, США / ♂ Kitt, к-54849, USA	-0,69 -2,39	-0,08 -0,35	-0,26 -0,41	0,01 0,23*
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина / ♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	1,64 2,31	-0,07 -0,35	-0,10 -0,15	-0,05 -0,22
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	2,20 5,12	0,06 0,19	0,48 0,22	0,03 0,22

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм.; * – достоверно высокие значения ОКС.
 Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at.; * – reliably high values of GCA

Достоверно высокие значения ОКС сорта в контрольном варианте исследования указывают на его способность эффективно передавать ценные признаки потомству в оптимальных условиях выращивания. Достоверно высокой ОКС по всем изучаемым параметрам характеризовалась исходная форма Эритроспермум 2945, по числу зародышевых корней – Воронежская 8 и NOS Norko. В стрессовых условиях достоверно высокую ОКС по числу зародышевых корней показали исходные формы NOS Norko и Jahuara F-77, по массе проростка – Симбирцит, Воронежская 8 и NOS Norko, по индексу RSR – Симбирцит и Kitt.

Выделены исходные формы, имеющие существенно высокие значения СКС как в нормальных, так и стрессовых условиях: по числу зародышевых корней – Карабалык-

ская 91, по накоплению проростками сухой массы – Симбирцит, Карабалыкская 91 и Jahuara F-77. Отцовские формы Jahuara F-77 и NOS Norko имели существенно высокую СКС по индексу RSR, показанному в нормальных условиях развития.

По результатам комплексной оценки исходных сортов выделены гибридные комбинации, перспективные для селекции на устойчивость к ранневесенней засухе (табл. 3).

Важным условием оценки эффективности селекции по указанным выше параметрам является выявление доли генотипической изменчивости в общей вариабельности признака, которая свидетельствует о соответствии между генотипом и фенотипом. Весьма актуальным вопросом является изучение изменчивости генетической вариации при переходе от нор-

мальных условий к стрессовым. Для этой цели в двухфакторном дисперсионном комплексе определяли общий коэффициент наследуемо-

сти (h^2_0), влияние материнских (h^2_A), отцовских форм (h^2_B) и их взаимодействия (h^2_{AB}) в контрольном и опытном вариантах (табл. 4).

Таблица 3 – Гибридные комбинации F₂ с устойчивостью к засухе в ювенильный период развития /
Table 3 – Hybrid combinations of F₂ with resistance to drought in the juvenile development period

Гибридная комбинация / Hybrid combination	Всхо- жесть, % / Germina- tion, %	Число зародыше- вых корней, шт. / The number of em- bryonic roots, pcs.	Сухая масса проростка, мг / Dry weight of the seedling, mg	RSR
Симбирцит x Jahuara F-77 / Simbircit x Jahuara F-77	93,1 77,8*	4,12 4,30*	9,60 3,28*	0,87 2,20*
Симбирцит x NOS Norko / Simbircit x NOS Norko	93,3 75,6*	4,75 4,30*	12,17 4,40*	0,96 1,88*
Карабалыкская 91 x Jahuara F-77 / Karabalykskaya 91 x Jahuara F-77	92,2 85,5*	4,74 4,27*	12,58 3,87*	0,92 1,65*
Карабалыкская 91 x Klein Vencedor / Karabalykskaya 91 x Klein Vencedor	95,4 80,5*	4,60 4,09*	12,37 2,66*	0,71 1,92*
Эритроспермум 2945 x NOS Norko / Erythrospermum 2945 x NOS Norko	97,8 85,5*	4,81 4,99*	12,71 4,08*	0,82 1,58*
Воронежская 8 x NOS Norko / Voronezhskaya 8 x NOS Norko	98,3 81,6*	4,84 3,82*	11,49 4,48*	0,71 1,09*
Воронежская 8 x Jahuara F-77 / Voronezhskaya 8 x Jahuara F-77	93,3 83,3*	4,76 3,91*	13,82 3,42*	0,94 1,71*
Воронежская 8 x Kitt / Voronezhskaya 8 x Kitt	93,3 83,3*	4,87 3,88*	12,66 3,61*	0,90 2,05*
Среднее в опыте (n = 16) / The average value in the experiment (n = 16)	94,7 78,9*	4,66 3,84*	12,03 3,56*	0,86 1,69*
Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)	2,6 9,4	5,1 12,5	10,9 16,4	12,8 21,4
HCP ₀₅ (фактор A) / LSD ₀₅ (factor A)	-	0,41	1,01	-
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)	3,6	0,15	0,36	0,15

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм; * – опытные величины значительно отличаются от контрольных, $p \leq 0,05$ /

Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at. * – experimental values are significantly different from the control, $p \leq 0.05$

Таблица 4 – Коэффициенты наследуемости (h^2) физиологических и морфометрических параметров проростков яровой пшеницы в нормальных и стрессовых условиях /
Table 4 – Heritability coefficients (h^2) of physiological and morphometric parameters of spring wheat seedling under normal and stressful conditions

Признак / Character	Коэффициент наследуемости / Heritability coefficients			
	h^2_A	h^2_B	h^2_{AB}	h^2_0
Всхожесть семян / Seed germination	0,12 0,09	0,04 0,05	0,09 0,22	0,25 0,36
Число зародышевых корней / The number of embryonic roots	0,19* 0,02	0,21* 0,17*	0,42* 0,37*	0,82 0,56
Сухая масса проростка / Dry weight of the seedling	0,14* 0,19*	0,01 0,22*	0,49* 0,24*	0,64 0,65
RSR (root-soot ratio)	0,22* 0,17*	0,26* 0,09	0,32* 0,16	0,80 0,42

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм. * – статистически значимо при $p \leq 0,05$ /
Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at.; significant at $p \leq 0.05$

Влияние родительских компонентов на всхожесть семян у гибридов F_2 было несущественным. Значение общего коэффициента наследуемости (h^2_0) не позволило с достаточной точностью выделить лучшие комбинации по проявлению этого признака. По остальным параметрам в контроле вклад материнских и отцовских форм, а также их взаимодействия был значимым, за исключением влияния отцовских компонентов на массу проростка. Значения общих коэффициентов наследуемости свидетельствуют о том, что отбор в нормальных условиях может быть высокоэффективным по числу зародышевых корней и индексу RSR.

Есть мнение, что при увеличении фенотипического и генотипического разнообразия исследуемого признака наблюдается тенденция роста погрешности в прогнозе селекционного эффекта [19]. В нашем случае об этом говорит снижение величины коэффициента наследуемости параметров «число корней» и «индекс RSR» при переходе от оптимальных условий к стрессовым. В опытном варианте исследования отмечен незначимый вклад материнских компонентов на число зародышевых корней, и отцовских – на показатель RSR. Таким образом, в стрессовых условиях наиболее результативным будет отбор по признаку «сухая масса проростка».

Выводы. Влияние искусственно созданной засухи на 5-дневные проростки яровой пшеницы оказалось весьма существенным по всем изучаемым параметрам, максимальное снижение наблюдалось по массе проростков.

Осмотический стресс усилил отток пластических веществ в корневую систему (индекс RSR увеличился в 1,6 раза у сортов и в 1,9 раза у гибридов). Отмечена высокая сортовая специфичность как абсолютных значений признаков, так и реакции на стресс.

По числу зародышевых корней в контроле преимущество имел сорт NOS Norko (Германия), по массе проростка – Карабалыкская 91 (Казахстан). Наибольшие значения RSR в контрольном и опытном вариантах отмечены у сорта Jahuara F-77 (Мексика). Отсутствием реакции на засуху по всхожести семян характеризовался сорт Kitt (США), по числу корней – Jahuara F-77 (Мексика) и Klein Vencedor (Аргентина).

На основании анализа родительских сортов по общей и специфической комбинационной способности выделены 8 гибридных комбинаций, перспективных для дальнейшего изучения. Наибольший гетерозисный эффект, выраженный увеличением среднего значения признака у гибридов по отношению к родителям, наблюдали по массе проростков, наименьший – по числу зародышевых корней.

В стрессовых условиях генотипические различия у сортов и гибридов выражены сильнее, чем в нормальных. Величина наследуемости параметров «число зародышевых корней», «сухая масса проростка» и «индекс RSR», свидетельствует о высокой информативности этих показателей и позволяет проводить отборы на устойчивость к ранневесенней засухе в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Драгавцев В. А., Михайленко И. М., Проскуряков М. А. Неканонический подход к решению задачи наследственного повышения засухоустойчивости у растений (на примере хлебных злаков). Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):487-500. DOI: <http://10.15389/agrobyology.2017.3.478rus>
2. Прокина Л. Н. Отзывчивость яровой пшеницы на внесение макро- и микроудобрений в условиях юга Нечерноземной зоны. Достижения науки и техники АПК. 2011;(7):31-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16543408>
3. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. Advances in Crop Science and Technology. 2018;6(2):356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>
4. Коробейников Н. И. Задачи и результаты селекции яровой мягкой пшеницы на Алтае. Научное обеспечение АПК Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Башкортостана. Новосибирск, 2002. С. 217-219.
5. Олейникова Т. В., Осипов Ю. Ф. Определение засухоустойчивости сортов пшеницы и ячменя, линий и гибридов кукурузы по прорастанию семян на растворах сахарозы с высоким осмотическим давлением. Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. Л.: Колос, 1976. С. 23-32.
6. Nulsen R. A., Thurllell G. W. Effects of osmotic around the roots on water uptake by maize plant. Australian J. Plant Physiol. 1980;7:27-34.
7. Марченкова Л. А., Давыдова Н. В., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Казаченко А. О., Грачева А. В., Широколава А. В. Оценка адаптивности сортов и линий яровой пшеницы на фоне искусственно моделируемых стрессов. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;(5(151)):9-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220885>

8. Сюков В. В. Методы подбора родительских пар для гибридизации у самоопыляющихся растений. Самара: «НТЦ», 2007. 83 с.
9. Митрофанова О. П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012;16(1):10-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17854542>
10. Давыдова Н. В., Казаченко А. О. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013;(5(103)):5-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19012020>
11. Крупнов В. А. Засуха и селекция пшеницы: системный подход. Сельскохозяйственная биология. 2011;46(1):12-23. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/1-2011krupnov.html>
12. Кривобочек В. Г. Подбор исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Селекция – инновационный путь развития сельского хозяйства: мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. (13-14 июля 2017 г.). Ульяновск, 2017. С. 137-142.
13. Ричардс З. А., Кондон А. Г., Ребецке Г. Дж. Признаки, по которым улучшают урожайность в условиях засухи. Применение физиологии в селекции пшеницы. Киев: Логос, 2007. С. 184-207.
14. Новохатин В. В. Первичная корневая система яровой мягкой пшеницы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015;(1):35-39.
15. Грабовец А. И. Селекция пшеницы при усилении засух. Российская сельскохозяйственная наука. 2016;(5):3-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26700954>
16. Амунова О. С., Тиунова Л. Н. Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости к ранней засухе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(1(62)):32-37. DOI: <https://doi.org/10.30766/2079-9081.62.1.32-37>
17. Степанов С. А. Морфогенетические особенности реализации продукционного процесса у яровой пшеницы. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2009;9(1):50-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12966458>
18. Кудоярова Г. Р., Веселов С. Ю., Усманов И. Ю. Гормональная регуляция соотношения биомассы побег/корень при стрессе. Журнал общей биологии. 1999;60(6):633-641.
19. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В 3-х томах. М.: Изд-во Агрорус, 2008. Т. 1. 816 с.

References

1. Dragavtsev V. A., Mikhaylenko I. M., Proskuryakov M. A. *Nekanonicheskiy podkhod k resheniyu zadachi nasledstvennogo povysheniya zasukhoustoychivosti u rasteniy (na primere khlebnnykh zlakov)*. [On how we can non-canonically increase hereditary drought resistance in plants (by an example of cereals)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):487-500. DOI: <http://10.15389/agrobiology.2017.3.478rus>
2. Prokina L. N. *Otzyvchivost' yarovoy pshenitsy na vnesenie makro- i mikroudobreniy v usloviyakh yuga Nечernozemnoy zony*. [Responsiveness of a spring wheat on entering long-term fertilizers in conditions of the south of the nonchernozem zone]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2011;(7):31-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16543408>
3. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. *Advances in Crop Science and Technology*. 2018;6(2):356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>
4. Korobeynikov N. I. *Zadachi i rezul'taty seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy na Altae. Nauchnoe obespechenie APK Sibiri, Mongolii, Kazakhstana, Belarusi i Bashkortostana*. [Tasks and results of spring soft wheat breeding in Altai. Scientific support of the agro-industrial complex of Siberia, Mongolia, Kazakhstan, Belarus and Bashkortostan]. Novosibirsk, 2002. pp. 217-219.
5. Oleynikova T. V., Osipov Yu. F. *Opreделение zasukhoustoychivosti sortov pshenitsy i yachmenya, liniy i gibridov kukuruzy po prorastaniyu semyan na rastvorakh sakharozy s vysokim osmoticheskim davleniem. Metody otsenki ustoychivosti rasteniy k neblagopriyatnym usloviyam sredy*. [Determination of drought tolerance of wheat and barley varieties, lines and hybrids of corn by seed germination on sucrose solutions with high osmotic pressure. Methods for assessing plant resistance to adverse environmental conditions]. Leningrad: Kolos, 1976. pp. 23-32.
6. Nulsen R. A., Thurllell G. W. Effects of osmotic around the roots on water uptake by maize plant. *Australian J. Plant Physiol*. 1980;7:27-34.
7. Marchenkova L. A., Davydova N. V., Chavdar' R. F., Orlova T. G., Kazachenko A. O., Gracheva A. V., Shirokolava A. V. *Otsenka adaptivnosti sortov i liniy yarovoy pshenitsy na fone iskusstvenno modeliruemyykh stressov*. [Adaptability evaluation of spring wheat varieties and breeding lines under the conditions of artificially modeled stress factors]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;(5(151)):9-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220885>
8. Syukov V. V. *Metody podbora roditel'skikh par dlya gibridizatsii u samoopylyayushchikhsya rasteniy*. [Methods of selection of parental pairs for hybridization in self-pollinating plants]. Samara: «NTTs», 2007. 83 p.

9. Mitrofanova O. P. *Geneticheskie resursy pshenitsy v Rossii: sostoyanie i predselektcionnoe izuchenie*. [Wheat genetic resources in Russia: current status and pre-breeding]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(1):10-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17854542>
10. Davydova N. V., Kazachenko A. O. *Osobennosti podbora iskhodnogo materiala dlya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya*. [Features of starting material selection for spring soft wheat selective breeding in the Central Nechernozemie (nonblack soil zone)]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2013;(5(103)):5-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19012020>
11. Krupnov V. A. *Zasukha i selektsiya pshenitsy: sistemnyy podkhod*. [Drought and wheat breeding: system approach]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2011;46(1):12-23. (In Russ.). URL: <http://www.agrobiology.ru/1-2011krupnov.html>
12. Krivobochek V. G. *Podbor iskhodnogo materiala dlya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya*. [Selection of source material for breeding spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga]. *Selektsiya – innovatsionnyy put' razvitiya sel'skogo khozyaystva: mat-ly Vseross. nauch.-prakt. konf. (13-14 iyulya 2017 g.)*. [Breeding is an innovative way of agricultural development: Proceedings of the All-Russian scientific and practical Conf. (July 13-14, 2017)]. Ul'yanovsk, 2017. pp. 137-142.
13. Richards Z. A., Kondon A. G., Rebetske G. Dzh. *Priznaki, po kotorym uluchshayut urozhaynost' v usloviyakh zasukhi. Primenenie fiziologii v seleksii pshenitsy*. [Traits that improve productivity in drought conditions. The use of physiology in wheat breeding]. Kiev: Logos, 2007. pp. 184-207.
14. Novokhatin V. V. *Pervichnaya kornevaya sistema yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Primary root system of spring common wheat]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2015;(1):35-39. (In Russ.).
15. Grabovets A. I. *Selektsiya pshenitsy pri usilenii zasukh*. [Breeding of wheat with increased of droughts]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2016;(5):3-6. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26700954>
16. Amunova O. S., Tiunova L. N. *Geneticheskoe raznoobrazie myagkoy yarovoy pshenitsy po ustoychivosti k ranney zasukhe*. [Genetic diversity of soft spring wheat in resistance to early drought]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(1(62)):32-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2079-9081.62.1.32-37>
17. Stepanov S. A. *Morfogeneticheskie osobennosti realizatsii produktsionnogo protsessa u yarovoy pshenitsy*. [Morphogenesis of Feature of Realization Production of Process at Spring Wheat]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* = Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2009;9(1):50-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12966458>
18. Kudoyarova G. R., Veselov S. Yu., Usmanov I. Yu. *Gormonal'naya regulatsiya sootnosheniya biomassy pobeg/koren' pri stresse*. [Hormonal regulation of shoot/root biomass rate under stress condition]. *Zhurnal obshchey biologii*. 1999;60(6):633-641. (In Russ.).
19. Zhuchenko A. A. *Adaptivnoe rastenievodstvo (ekologo-geneticheskie osnovy). Teoriya i praktika. V 3-kh tomakh*. [Adaptive crop production (ecological and genetic basis). Theory and practice. In 3 volumes]. Moscow: Izd-vo Agrorus, 2008. Vol. 1. 816 p.

Сведения об авторах

Амунова Оксана Сергеевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

✉ **Волкова Людмила Владиславовна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: volkovkirov@mail.ru

Information about the authors

Oksana S. Amunova, PhD in Biology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

✉ **Lyudmila V. Volkova**, PhD in Biology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: volkovkirov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Изучение антагонистических и ростстимулирующих свойств штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания эффективных биофунгицидов

© 2020. А. М. Асатурова, Т. М. Сидорова✉, Н. С. Томашевич, Н. А. Жевнова, А. И. Хомяк, А. Е. Козицын, В. М. Дубяга, М. Д. Павлова, Н. М. Сидоров, В. В. Аллаhverдян

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», г. Краснодар, Российская Федерация

В период с 2012 по 2015 год на озимой пшенице сорта Калым проведены полевые испытания жидкой культуры на основе выделенных из природных источников штаммов *B. subtilis* BZR 336g и BZR 517, которые проявляют антифунгальное действие в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *Microdochium nivale* и *Pyrenophora tritici-repentis*, а также способны оказывать положительное влияние на рост и развитие растений. Жидкой культурой штаммов проводили предпосевную обработку семян и две профилактические обработки в период вегетации растений. Варианты сравнения – обработка водой (контроль), химическими (Раксил, КС; Альто Супер, КС) и биологическим (Фитоспорин-М, Ж) эталонами. Биологическая эффективность в отношении комплекса фузариозных корневых гнилей отмечена в фазы выхода в трубку и созревания озимой пшеницы и в отдельные годы достигала 22,8 % для штамма *B. subtilis* BZR 336g и 17,2 % для штамма *B. subtilis* BZR 517. В вариантах с предпосевной обработкой семян и вегетирующих растений озимой пшеницы штаммом *B. subtilis* BZR 336g в течение трех лет полевых испытаний получена урожайность от 5,0 до 7,4 т/га, а при обработке штаммом *B. subtilis* BZR 517 – от 4,2 до 7,6 т/га. Максимальный дополнительный урожай озимой пшеницы от применения жидких культур штаммов получен в 2013 году – достоверная прибавка урожая составила 1,6 т/га для штамма *B. subtilis* BZR 336g и 0,8 т/га для штамма *B. subtilis* BZR 517. Способность жидких культур исследуемых штаммов обеспечивать защиту озимой пшеницы от вредоносных болезней на уровне и выше биологического и химического эталонов будет способствовать расширению ассортимента микробных биопрепаратов в сегменте российского рынка экологически безопасных средств защиты растений.

Ключевые слова: биологическая защита растений, бактерии-антагонисты, фитопатогенные грибы, антифунгальные метаболиты

Благодарности: Исследования выполнены согласно Государственному заданию № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0009.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Асатурова А. М., Сидорова Т. М., Томашевич Н. С., Жевнова Н. А., Хомяк А. И., Козицын А. Е., Дубяга В. М., Павлова М. Д., Сидоров Н. М., Аллаhverдян В. В. Изучение антагонистических и ростстимулирующих свойств штаммов *Bacillus subtilis*, перспективных для создания эффективных биофунгицидов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):263-272. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.263-272>

Поступила: 27.03.2020

Принята к публикации: 4.06.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

The study of the antagonistic and growth-stimulating characteristics of *Bacillus subtilis* strains, promising for the development of the effective biofungicides

© 2020. Anzhela M. Asaturova, Tatyana M. Sidorova✉, Natalia S. Tomashevich, Natalia A. Zhevnova, Anna I. Khomyak, Aleksandr E. Kozitsyn, Valentina M. Dubyaga, Marina D. Pavlova, Nikita M. Sidorov, Valeria V. Allakhverdyan

All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russian Federation

In the period from 2012 to 2015 on Kalym winter wheat variety plants there were carried out field tests of the liquid culture of *B. subtilis* BZR 336g and BZR 517 strains isolated from natural sources that exhibit antifungal activity against phytopathogenic fungi *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *Microdochium nivale* and *Pyrenophora tritici-repentis*, and are also able to have a positive effect on the growth and development of plants. Pre-sowing seed treatment and two preventive treatments during the growing season of the plants were carried out with the liquid culture of the strains. Comparison variants – treatment with water (control), with chemical (Raxil, KS; Alto Super, KS) and with biological (Fitosporin-M, L) standards. Biological efficacy against the complex of fusarium root rots was noted in the shooting stage of winter wheat and during ripening, and in some years reached 22.8 % for *B. subtilis* BZR 336g strain and 17.2 % for *B. subtilis* BZR 517 strain. In variants with pre-sowing seed treatment and treatment of vegetative winter wheat plants with *B. subtilis* BZR 336g strain for three years of field trials the yield was from 5.0 to 7.4 t / ha, and when treated with *B. subtilis* BZR 517 strain – from 4.2 to 7.6 t / ha. The maximum

additional yield was obtained in 2013 – a reliable yield increase was 1.6 t / ha for *B. subtilis* BZR 336g strain and 0.8 t / ha for *B. subtilis* BZR 517 strain. The ability of liquid cultures of the studied strains to protect winter wheat against harmful diseases at the same level and above the biological and chemical standards will help to expand the range of microbial biological products in the segment of the Russian market of environmentally friendly plant protection products.

Keywords: biological plant protection, antagonist bacteria, phytopathogenic fungi, antifungal metabolites

Acknowledgement: the studies were carried out in accordance with the State Assignment No. 075-00376-19-00 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the research on the topic No. 0686-2019-0009.

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

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

For citation: Asaturova A. M., Sidorova T. M., Tomashevich N. S., Zhevnova N. A., Khomyak A. I., Kozitsyn A. E., Dubyaga V. M., Pavlova M. D., Sidorov N. M., Allakhverdyan V. V. The study of the antagonistic and growth-stimulating characteristics of *Bacillus subtilis* strains, promising for the development of the effective biofungicides. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):263-272. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.263-272>

Received: 27.03.2020

Accepted for publication: 04.06.2020

Published online: 23.06.2020

Широкое использование химических соединений для борьбы с болезнями растений нарушает экологический баланс микробиоты, обитающей в почве, что приводит к появлению устойчивых штаммов фитопатогенов, загрязнению подземных вод и очевидным рискам для здоровья человека. Актуальность разработки и широкого применения биотехнологической продукции диктуется необходимостью обеспечения экологической безопасности и конкурентоспособности производимой сельскохозяйственной продукции.

В странах ЕС, Японии, США и Южной Корее на государственном уровне ставится вопрос о постепенном переводе агропромышленного сектора экономики на альтернативные методы и технологии ведения сельского хозяйства. Вектор направленности социально-экологической политики АПК России на сегодняшний день тоже меняется в сторону экологизации и стимулирования биодинамических и органических систем земледелия. Спрос на экологически безопасную сельскохозяйственную продукцию постоянно растёт. В Европе около 30 % сельскохозяйственных земель используется под органическое земледелие [1].

В большинстве сельскохозяйственных регионов РФ отмечается распространенность корневых гнилей, мучнистой и ложной мучнистой росы огурца, фузариозов и ржавчины зерновых культур, фитофтороза картофеля, бактериозов овощных и плодовых культур, часто из числа карантинных объектов, что зачастую приобретает характер эпифитотий. Отмечается появление новых опасных видов фитопатогенов. В связи с этим проблема создания эффективных микробиологических средств для защиты от экономически значимых болезней становится все более актуальной [2]. Защита растений от патогенов с использо-

ванием микробиологических препаратов представляет один из наиболее перспективных и экологически безопасных методов повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции [3].

Расширение ассортимента видов и штаммов, перспективных для создания новых биопрепаратов на основе изучения биоразнообразия микробных сообществ, является основной задачей микробиологической защиты растений. Перспективность использования полифункциональных биопрепаратов на основе штаммов микробов-антагонистов для снижения численности и вредоносности популяций фитопатогенных микроорганизмов и фитосанитарной оптимизации агроэкосистем базируется на прямом целевом действии на вредные объекты за счет комплексов антибиотиков и гидролитических ферментов, а также повышении стрессо- и болезнеустойчивости растений и опосредованной защите растений за счет фиторегуляторной активности штаммов-продуцентов биопрепаратов.

Современная концепция развития биологического метода защиты растений предполагает не только уничтожение различных фитопатогенов, но и восстановление видового и количественного состава микробиоты агроэкосистем. Биопрепараты на основе бактерий-антагонистов являются не только альтернативой химическим пестицидам, но и важным элементом комплексной системы защиты в современном растениеводстве, что позволяет существенно снизить нормы применения химических препаратов. Устойчивость растений к фитопатогенам во многом определяется процессами взаимодействия между корневой системой растений и почвенными микроорганизмами. Известно, что в ризосфере и филлоплане растений между микроорганизмами

складаются разнообразные, в том числе и конкурентные взаимоотношения [4]. В частности, высокой антагонистической активностью обладают аэробные спорообразующие бактерии рода *Bacillus*. Биологические препараты на их основе имеют ряд существенных преимуществ, таких как безвредность для человека и животных, устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, что делает возможным их эффективное применение в борьбе с болезнями растений, вызванными фитопатогенами различной природы [2].

Основными механизмами, с помощью которых агенты биоконтроля подавляют патогены, являются антибиоз, конкуренция, стимуляция роста и индукция системно приобретенной резистентности. Участие антибиотиков в защитном действии происходит либо путем прямого воздействия на фитопатогены, либо путем индукции системной резистентности растений-хозяев [4].

Бактерии рода *Bacillus* – одна из основных групп микробного сообщества почвы и ризосферы, являются наиболее важным объектом поиска новых антагонистов для подавления патогенной и условно-патогенной микробиоты [5, 6]. Основным критерием будущей пригодности их в качестве действующего начала биофунгицида является наличие антагонистической активности к широкому спектру фитопатогенов. Одним из наиболее важных свойств, способствующих антагонизму, является синтез антибиотиков и антимикробных соединений широкого спектра действия. Липопептиды, полученные из *Bacillus*, обладают огромным потенциалом биологического контроля против широкого спектра агрономически важных грибных фитопатогенов [7].

Группа *B. subtilis* способна синтезировать множество антагонистических соединений, проявляющих широкий спектр биологических функций [8, 9, 10, 11]. Эта универсальность повышает интерес к штаммам *B. subtilis*, особенно при рассмотрении их диапазона действия в качестве основы биопрепаратов для защиты растений [12]. Это обстоятельство связано также с такими особенностями этих микроорганизмов, как наличие спорообразующей способности, необходимой для выживания в стрессовых условиях, и их возможности проявлять антагонистические свойства к возбудителям опасных болезней растений [13].

В связи с изложенными фактами нами проведен поиск штаммов бактерий *B. subtilis* с антифунгальными свойствами. При этом из

ризосферы озимой пшеницы было выделено несколько сотен штаммов, из которых в результате скрининга по признаку антифунгальной активности в отношении одного из наиболее вредоносных представителей грибов рода *Fusarium* (*F. graminearum*) для озимой пшеницы отобрано два штамма бактерий *B. subtilis* в качестве возможной основы новых биопрепаратов с высокой фунгицидной активностью [14, 15].

Новизна исследований заключается в том, что разработка биопрепаратов нового поколения ведется на основе вновь выделенных штаммов *B. subtilis*, проявляющих антагонистические свойства по отношению к грибам – возбудителям вредоносных болезней сельскохозяйственных культур. На этапе вторичного скрининга штаммы исследуются по основным биоконтрольным свойствам: антагонистическая активность к фитопатогенам, влияние на рост и развитие растений, защитный эффект в полевых условиях [16, 17].

Цель работы – провести вторичный скрининг штаммов *B. subtilis* – антагонистов фитопатогенов по критериям антифунгальной активности, влиянию на рост и развитие растений, а также по защитному действию в условиях полевых испытаний.

Материал и методы. Объектами исследования послужили новые штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 из БРК ФГБНУ ВНИИБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов».

Полевые испытания исследуемых штаммов осуществляли в условиях стационарного севооборота в период с 2012 по 2015 г. на экспериментальной базе ФГБНУ ВНИИБЗР (г. Краснодар) на озимой пшенице сорта Калым (среднеспелый, полукарликовый, с высокой устойчивостью к полеганию и болезням: бурой ржавчине, септориозу, мучнистой росе). Для этого семена озимой пшеницы обрабатывали жидкой культурой (ЖК) штаммов ручным способом. Нормы применения *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 составили 3 и 2 л/т соответственно. Расход рабочей жидкости 10 л/т. В контрольном варианте семена обрабатывали водопроводной водой.

Посев осуществляли спустя сутки после обработки механической сеялкой СЗН-3,6. Норма высева – 220 кг/га. Ширина междурядья – 15 см. В 2012 г. опытные участки располагали по предшественнику подсолнечник, в 2013 г. – по предшественнику люцерна, в 2015 г. – подсолнечник. В качестве гербицида использовали Стомп, КЭ (пендиметалин, 330 г/л) с нормой

применения 4,5 л/га. В весенний период использовали гербицид Прима, СЭ (300 г/л 2,4-Д (сложный 2-этилгексильный эфир) + 6,25 г/л флорасулама) с нормой применения 0,6 л/га в фазу кушения.

В течение периода вегетации проводили две профилактические обработки ЖК штаммов, химическим и биологическим эталонами. Норма применения *B. subtilis* BZR 336 g и *B. subtilis* BZR 517 для обработки вегетирующих растений составила 3 и 2 л/га соответственно, расход рабочей жидкости – 300 л/га. Рабочую жидкость готовили непосредственно перед обработкой. В качестве химического эталона использовали Раксил, КС (тебуконазол, 60 г/л) для обработки семян и Альто Супер, КС (пропиконазол + ципроконазол, 250 + 80 г/л) для обработки растений. В качестве биологического эталона – Фитоспорин-М, Ж (*B. subtilis* 26 Д).

Всхожесть в полевых условиях учитывали в четырех повторностях в расчете на погонный метр. Учеты комплекса корневых гнилей фузариозной этиологии осуществляли согласно действующей методике в динамике в фазу кушения осенью (Z 20-21) и весной (Z 26-21), а также в фазу выхода в трубку (Z 32-35) и созревания (Z 73-77)¹.

Если наличие фузариозных корневых гнилей ставилось под сомнение, осуществляли закладку пораженного материала во влажную камеру для выявления патогена. Расчеты развития, распространенности и биологической эффективности проводили по стандартным формулам².

Развитие листовых болезней учитывали по мере появления их признаков. Учет проводили визуально по площади поражения листа желтой пятнистостью в процентах в фазу кушения осенью (Z 20-21) и весной (Z 26-21), в фазу выхода в трубку (Z 32-35) и созревания (Z 73-77). В работе приведены данные, полученные при максимальном развитии болезни. Повторность во всех опытах трехкратная. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием критерия Дункана в программе STATISTICA 13.2.

Результаты и их обсуждение. Ранее получены результаты лабораторных исследований перспективных штаммов *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 [18]. Показано,

что оба штамма проявляют высокую антифунгальную активность к возбудителям фузариозных корневых гнилей, снежной плесени и желтой пятнистости листьев, ингибируя рост мицелия патогенов к концу периода инкубации в двойных культурах от 42,2 до 94,4 % (рис. 1). При этом обнаружены следующие закономерности: степень ингибирования штаммом *B. subtilis* BZR 336g роста *F. graminearum* к 10-м суткам максимальна – 51,7 %, затем она снижается и к концу периода инкубации составляет 50,2 %. В отношении *M. nivale* ситуация была аналогичной – на 10-е сутки степень ингибирования составляет 47,3 % и к 20-м суткам снижается до 44,3 %, в то время как степень ингибирования *F. culmorum* на 10-е сутки достигает максимума – 48,2 % и остается неизменной. В отношении *P. tritici-repentis* на 10-е сутки мы наблюдаем резкий скачок ингибирования с 78,5 до 92,8 %, затем этот показатель плавно повышается и к 20-м суткам достигает 94,4 % [18].

Ингибирование штаммом *B. subtilis* BZR 517 мицелия *F. graminearum* к 10-м суткам совместной инкубации составляет 52,2 %, остается неизменным на 15-е сутки, к 20-м суткам увеличивается и достигает максимального значения – 54,0 %. Степень ингибирования *F. culmorum* достигает максимума уже на 10-е сутки – 44,4 %, а затем снижается до 42,2 % и остается неизменной до конца периода инкубации. Аналогичную картину мы наблюдаем в отношении *M. nivale* – степень ингибирования на 10-е сутки была максимальной – 57,6 %, затем данный показатель падает до 52,7 % и больше не меняется. В отношении *P. tritici-repentis* также отмечается скачок степени ингибирования на 10-е сутки. Этот показатель вырастает с 6,5 до 62,5 %, затем продолжает расти и к 20-м суткам достигает 68,8 % [18].

Следует отметить различия в механизме действия штаммов. *B. subtilis* BZR 336g обладает высокой подвижностью и стремится занять как можно большую площадь ЧП. Штамм *B. subtilis* BZR 517 не обладает такой подвижностью, однако длительное время сохраняет широкую стерильную зону на границе с патогеном (рис. 1). Предположительно, его антагонистическое действие основано преимущественно на продукции антифунгальных метаболитов.

¹Zadoks J. G., Chang T. T., Konzak C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 1974;14:415-421. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

²Долженко В. И. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 2009. 379 с.

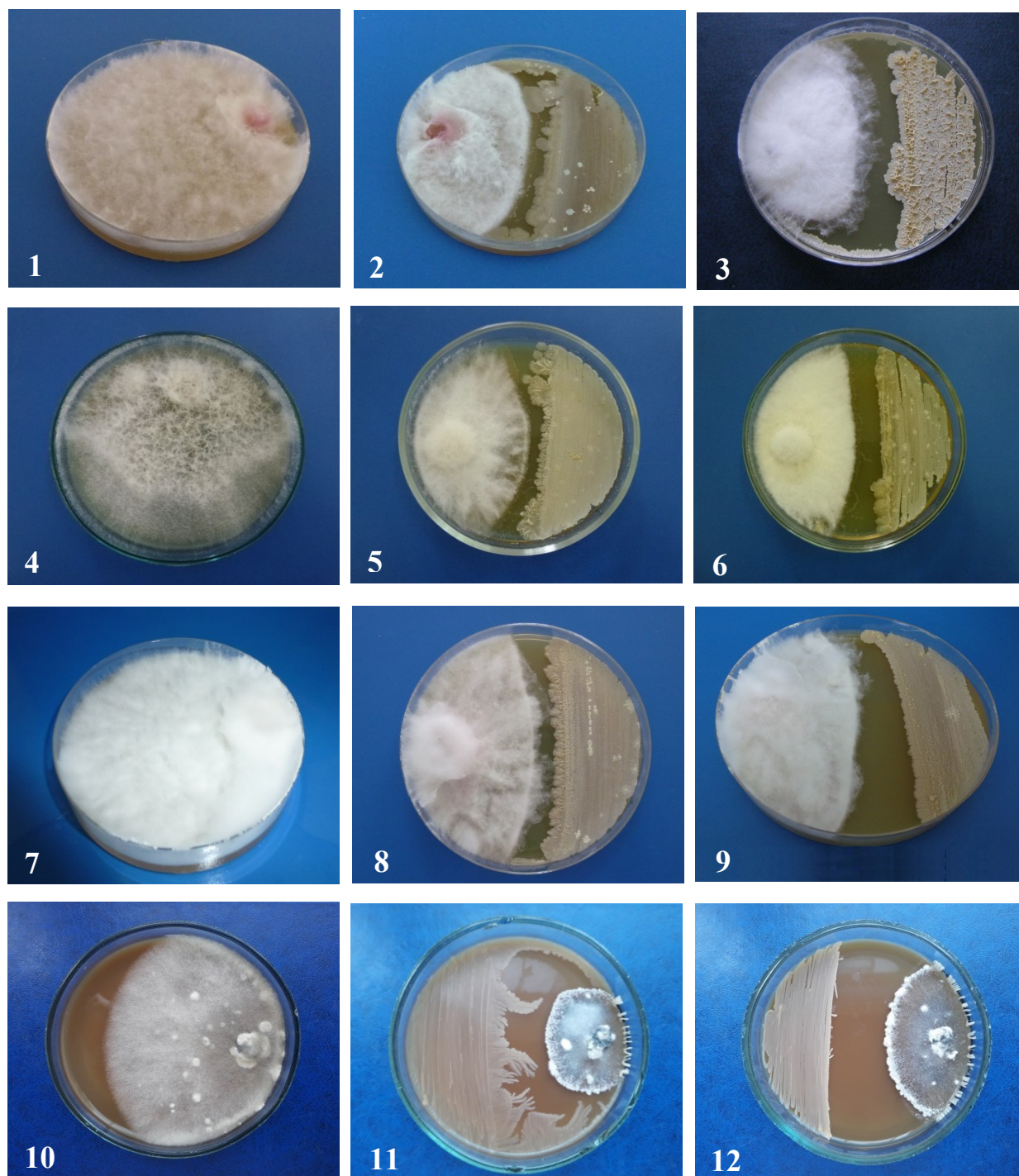


Рис. 1. Антифунгальная активность штаммов *B. subtilis* в отношении фитопатогенных грибов: 1 – *F. graminearum* контроль; 2 – BZR 336g и *F. graminearum*; 3 – *B. subtilis* BZR 517 и *F. graminearum*; 4 – *F. culmorum* контроль; 5 – *B. subtilis* BZR 336g и *F. culmorum*; 6 – *B. subtilis* BZR 517 и *F. culmorum*; 7 – *M. nivale* контроль; 8 – *B. subtilis* BZR 336g и *M. nivale*; 9 – *B. subtilis* BZR 517 и *M. nivale*; 10 – *P. tritici-repentis* контроль; 11 – *B. subtilis* BZR 336g и *P. tritici-repentis*; 12 – *B. subtilis* BZR 517 и *P. tritici-repentis* /

Fig. 1. Antifungal activity of *B. subtilis* strains against the phytopathogenic fungi: 1 – *F. graminearum* control; 2 – *B. subtilis* BZR 336g + *F. graminearum*; 3 – *B. subtilis* BZR 517 + *F. graminearum*; 4 – *F. culmorum* control; 5 – *B. subtilis* BZR 336g + *F. culmorum*; 6 – *B. subtilis* BZR 517 + *F. culmorum*; 7 – *M. nivale* control; 8 – *B. subtilis* BZR 336g + *M. nivale*; 9 – *B. subtilis* BZR 517 + *M. nivale*; 10 – *P. tritici-repentis* control; 11 – *B. subtilis* BZR 336g + *P. tritici-repentis*; 12 – *B. subtilis* BZR 517 + *P. tritici-repentis*

Отмечено положительное влияние ЖК исследуемых штаммов на всхожесть семян озимой пшеницы в условиях влажной камеры. Так, всхожесть семян в вариантах со штаммами *B. subtilis* BZR 517 и *B. subtilis* BZR 336 g составляет 95,0 и 96,7 % соответственно. Полученные результаты превышают показатели всхожести в контроле (94,2 %), а также в варианте с биологическим эталоном Фитоспорин-М, Ж (93,3 %).

Обнаружено, что штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 стимулируют рост и развитие растений озимой пшеницы в условиях теплицы. При обработке семян суспензией *B. subtilis* BZR 336g происходит увеличение массы побега и корня на 6,0 и 18,0 % соответственно, при обработке суспензией *B. subtilis* BZR 517 отмечается увеличение массы побега на 9,4 %, корня на 15,6 %, а также длины корня на 20,1 %. Следует отметить, что стимулирующее действие исследуемых штаммов превышает приведенные показатели в варианте с биологическим эталоном Фитоспорин-М, Ж [18]. В результате обработки ЖК на основе исследуемых штаммов увеличивается количество корней, приходящихся на единицу площади субстрата, что в полевых условиях, возможно, будет способствовать более эффективному поглощению почвенного раствора.

Полученные данные позволяют заключить, что исследуемые штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 оказывают выраженный антифунгальное действие в отношении грибов родов *Fusarium*, *Microdochium* и *Pyrenophora*, а также способны оказывать положительное влияние на всхожесть семян и стимулировать рост и развитие растений.

Для оценки перспективности использования ЖК исследуемых штаммов в сельскохозяйственной практике необходимо было провести оценку штаммов в полевых условиях.

Биологическую эффективность в отношении комплекса фузариозных корневых гнилей оценивали каждый год в динамике в фазу кущения осенью и весной, в фазы выхода в трубку и созревания. Максимальную эффективность отметили в фазах выхода в трубку и созревания. Исключение составил 2012-2013 гг., когда максимальную биологическую эффективность отметили на начальных этапах вегетации. В таблице 2 приведена итоговая биологическая эффективность, которую в 2013-2014 гг. и

2014-2015 гг. определили в фазу созревания (Z 73-77), а в 2012-2013 гг. – в фазу кущения (Z 20-21). В 2012-2013 гг. распространенность корневых гнилей была на уровне 57,1 %. Биологическая эффективность ЖК штаммов составила от 0 до 43,2 % при эффективности химического эталона 44,2 %. В 2013-2014 гг. распространенность и развитие болезней было выше – 67,4 и 36,1 %, биологическая эффективность была на уровне 17,2-22,8 % при эффективности химического эталона 26,2 % и биологического – 17,4 %. В последующие годы распространенность фузариозных корневых гнилей составила 89,4 %, а развитие – 26,3 %. На этом фоне максимальная биологическая эффективность ЖК штаммов составила 0-1,6 %. Помимо благоприятных для развития инфекции погодных условий, имела место задержка срока посева, что вероятно отрицательно сказалось на работе штаммов. Эффективность химического эталона составила 1,1 %, биологического – 10,1 % (табл. 1).

В 2013-2014 гг. биологическая эффективность в отношении желтой пятнистости оценивали на фоне развития болезни 3,3 %, в 2014-2015 гг. – 7,5 %. В 2012-2013 гг. были отмечены единичные проявления желтой пятнистости листьев пшеницы. В 2014-2015 гг. сроки посева были смещены в связи с погодными условиями, что, вероятно, отрицательно сказалось на интродукции биоагентов. Это подтверждает необходимость строгого соблюдения технологии применения препаратов на основе живых микроорганизмов.

Уборку урожая провели после полного созревания зерна с последующим приведением к стандартной влажности. В 2013 г. достоверный и максимальный дополнительный урожай получили в варианте с обработкой *B. subtilis* BZR 336 g – 1,6 т/га и BZR 517 *B. subtilis* – 0,8 т/га (табл. 2).

В 2014 г. полученный урожай от применения как исследуемых штаммов (7,2-7,6 т/га), так и эталонного варианта с Фитоспорином-М, Ж (7,4 т/га) был достоверно выше, чем в контроле – 6,9 т/га. В 2015 г. достоверный дополнительный урожай отметили в варианте с применением *B. subtilis* BZR 517 – 0,4 т/га, а также *B. subtilis* BZR 336g – 0,1 т/га. Небольшая величина дополнительного урожая связана с неблагоприятными погодными условиями (2014-2015 гг. посевной год был самым холодным) и поздним сроком посева.

Таблица 1 – Биологическая эффективность ЖК штаммов *B. subtilis* в отношении экономически значимых болезней в условиях стационарного севооборота (2012-2015 гг.) /

Table 1 – Biological efficacy of *B. subtilis* strains LC against economically significant diseases under the conditions of the permanent crop rotation (2012-2015)

Вариант / Variant	Биологическая эффективность, % / Biological efficacy, %					
	в отношении фузариозных корневых гнилей / against <i>Fusarium</i> root rots			в отношении желтой пятнистости листьев / against yellow leaf spot		
	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.	2014-2015 гг.	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.	2014-2015 гг.
Распространенность/развитие болезни в контроле / Disease incidence/development in control	57,1/0,1	67,4/36,1	89,4/26,3	-	0,1/3,3	0,1/7,5
Химический эталон Раксил, КС; Альто Супер, КС / Chemical standard Raksil, KS; Alto Super, KS	44,2	26,2	1,1	-	83,1	83,7
Биологический эталон Фитоспорин-М, Ж / Biological standard Fitosporin-M, L	-	17,4	10,1	-	63,1	34,2
<i>B. subtilis</i> BZR 336g	10,0	22,8	1,6	-	49,2	41,8
<i>B. subtilis</i> BZR 517	43,2	17,2	0	-	38,5	43,6

Таблица 2 – Влияние обработки семян и вегетирующих растений озимой пшеницы сорта Калым ЖК штаммов *B. subtilis* на урожайность в условиях стационарного севооборота, т/га (2012-2015 гг.) /

Table 2 – The effect of the seed treatment and the treatment of the vegetative plants of Kalym winter wheat variety with the LC of *B. subtilis* strains on yield under the conditions of the permanent crop rotation t / ha, (2012-2015)

Вариант / Variant	2012-2013 гг.		2013-2014 гг.		2014-2015 гг.	
	урожайность / productivity	дополнительный урожай / additional yield	урожайность / productivity	дополнительный урожай / additional yield	урожайность / productivity	дополнительный урожай / additional yield
Контроль / Control	3,4 ^a	-	6,9 ^a	-	7,0 ^a	-
Химический эталон Раксил, КС; Альто Супер, КС / Chemical standard Raksil, KS; Alto Super, KS	3,9 ^a	0,5	7,0 ^a	0,1	7,1 ^{ab}	0,1
Биологический эталон Фитоспорин-М, Ж / Biological standard Fitosporin-M, L	-	-	7,4 ^d	0,5	7,2 ^{ab}	0,3
<i>B. subtilis</i> BZR 336g	5,0 ^b	1,6	7,2 ^c	0,3	7,4 ^b	0,1
<i>B. subtilis</i> BZR 517	4,2 ^{ab}	0,8	7,6 ^b	0,7	7,1 ^{ab}	0,4

Примечание: между вариантами, обозначенными одинаковыми буквами, при сравнении в пределах столбцов нет статистически достоверных различий по критерию Дункана при 95 %-м уровне вероятности /

Note: between the variants marked with the same letters, when comparing within the columns there are no statistically significant differences according to the Duncan criterion at a 95% probability level

Таким образом, доказано, что обработка семян и растений ЖК исследуемых штаммов способна обеспечивать защиту озимой пшеницы и получать дополнительный урожай на уровне и выше биологического и химического эталонов, что будет способствовать расшире-

нию ассортимента микробных биопрепаратов в сегменте российского рынка экологически безопасных средств защиты растений.

Выводы. 1. Обработка семян и вегетирующих растений озимой пшеницы ЖК штаммов *B. subtilis* в полевых условиях на

фоне естественного поражения обеспечивала биологическую эффективность в зависимости от плотности популяций патогенов и складывающихся погодных условий против комплекса фузариозных корневых гнилей до 43,2 %, против желтой пятнистости листьев пшеницы до 49,2 %. При обработке штаммом *B. subtilis* BZR 336g урожайность в течение трех лет колебалась от 5,0 до 7,4 т/га, штаммом

B. subtilis BZR 517 – от 4,2 до 7,6 т/га.

2. Установлено, что исследуемые штаммы *B. subtilis* BZR 336g и *B. subtilis* BZR 517 проявляют выраженные антагонистические свойства по отношению к возбудителям вредоносных грибных болезней озимой пшеницы и способствуют увеличению урожайности, поэтому могут быть использованы в качестве основы эффективных биофунгицидов.

Список литературы

1. Коршунов С. А., Любовецкая А. А., Асатурова А. М., Исмаилов В. Я., Коваленко Л. Ю. Органическое сельское хозяйство: инновационные технологии, опыт, перспективы. Монография. М., 2019. 92 с.
2. Маланичева И. А., Козлов Д. Т., Ефименко Т. А., Зенкова В. А., Резникова М. И., Королев А. М., Борщевская Л. Н., Тарасова О. Д., Синеев С. П., Ефременкова О. В. Новые антибиотики, образуемые штаммами *Bacillus subtilis*. Микробиология. 2014;83(4):445-450. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0026365614040119>
3. Новикова И. И. Полифункциональные биопрепараты для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем в биологическом земледелии. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019;2(99):183-194. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10162>
4. Gouda S., Kerry R. C., Das G., Paramithiotis S., Shin H.-S., Patra J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. Microbiological research. 2018;206:131-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
5. Грабова А. Ю., Драговоз И. В., Крючкова Л. А., Пасичник Л. А., Авдеева Л. В. Скрининг штаммов бактерий рода *Bacillus* – активных антагонистов фитопатогенов бактериальной и грибной природы. Микробиологический журнал. 2015;77(6):47-54. Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2015_77_6_7
6. Азизбеян Р. Р. Использование спорообразующих бактерий в качестве биологических средств защиты растений. Биотехнология. 2013;29(1):69-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18819987>
7. Максимов И. В., Веселова С. В., Нужная Т. В., Сарварова Е. Р., Хапруллин Р. М. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам. Физиология растений. 2015;62(6):763-775. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330315060111>
8. Сидорова Т. М., Асатурова А. М., Хомяк А. И. Биологически активные метаболиты *Bacillus subtilis* и их роль в контроле фитопатогенных микроорганизмов (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(1):29-37. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.29rus>
9. Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. Front. Microbial. 2019;10:302. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
10. Falardeau J., Wise C., Novitsky L., Avis T. J. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* lipopeptides on plant pathogens. J. Chem. Ecol. 2013;37(7):869-878. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0319-7>
11. Hashem A., Tabassum B., Abd Allah E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impact biotic stress. Saudi journal of biological sciences. 2019;26(6):1291-1297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
12. Штерншис М. В., Беляев А. А., Цветкова В. П., Шпатов Т. В., Лесяк А. А., Бахвалов С. А. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений. Новосибирск, 2016. С. 34-35.
13. Хайруллин Р. М., Недорезков В. Д., Мубинов И. Г., Захарова Р. Ш. Повышение устойчивости пшеницы к абиотическим стрессам эндофитным штаммом *Bacillus subtilis*. Вестник Оренбургского государственного университета. 2007;(2(65)):129-134. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11609752>
14. Асатурова А. М., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Жарникова М. Д. Отбор перспективных агентов биологического контроля для защиты озимой пшеницы от возбудителей фузариоза. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012;(75):824-835. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17305502>
15. Асатурова А. М., Надькта В. Д., Исмаилов В. Я., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Жарникова М. Д., Жевнова Н. А. Изучение влияния бактериализации семян на рост и развитие растений озимой пшеницы. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013;(85):43-56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22986797>
16. Боронин А. М. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений. Соросовский образовательный журнал. 1998;4(10):25-31. Режим доступа: <https://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/641.html>
17. Маслиенко Л. В. Биологический метод защиты подсолнечника и других сельскохозяйственных культур от болезней. Агро XXI. 1999;8:9.

18. Асатурова А. М., Жевнова Н. А., Павлова М. Д., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Хомяк А. И., Цыгичко А. А., Бондарчук Е. Ю., Сидорова Т. М. Эффективность инокуляции семян озимой пшеницы бактериями рода *Bacillus*, перспективными для создания биопрепаратов. *Зерновое хозяйство России*. 2019;(2(62)):8-12. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-8-12>

References

1. Korshunov S. A., Lyubovetskaya A. A., Asaturova A. M., Ismailov V. Ya., Kovalenko L. Yu. *Organicheskoe sel'skoe khozyaystvo: innovatsionnye tekhnologii, opyt, perspektivy. Monografiya*. [Organic agriculture: innovative technologies, experience, prospects. Monograph]. Moscow, 2019. 92 p.
2. Malanicheva I. A., Kozlov D. T., Efimenko T. A., Zenkova V. A., Reznikova M. I., Korolev A. M., Borshchevskaya L. N., Tarasova O. D., Sineokiy S. P., Efremenkova O. V. *Novye antibiotiki, obrazuemye shtammami Bacillus subtilis*. [New antibiotics produced by *Bacillus subtilis* strains]. *Mikrobiologiya* = Microbiology. 2014;83(4):445-450. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0026365614040119>
3. Novikova I. I. *Polifunktsional'nye biopreparaty dlya fitosanitar'noy optimizatsii agroekosistem v biologicheskoy zemledelii*. [Polyfunctional biological products for phytosanitary optimization of agroecosystems in biological agriculture]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;2(99):183-194. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10162>
4. Gouda S., Kerry R. C., Das G., Paramithiotis S., Shin H.-S., Patra J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*. 2018;206:131-140. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
5. Grabova A. Yu., Dragovoz I. V., Kryuchkova L. A., Pasichnik L. A., Avdeeva L. V. *Skrining shtammov bakteriy roda Bacillus – aktivnykh antagonistov fitopatogenov bakterial'noy i gribnoy prirody*. [Screening of the *Bacillus* strains - active antagonists of phytopathogens of bacterial and fungal origin]. *Mikrobiologicheskii zhurnal*. 2015;77(6):47-54. (In Ukraine). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2015_77_6_7
6. Azizbekyan R. R. *Ispol'zovanie sporeobrazuyushchikh bakteriy v kachestve biologicheskikh sredstv zashchity rasteniy*. [Application of Sporeforming Bacteria as Agents for Plant Biological Protection]. *Biotehnologiya* = Biotechnology in Russia. 2013;29(1):69-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18819987>
7. Maksimov I. V., Veselova S. V., Nuzhnaya T. V., Sarvarova E. R., Khatsrullin R. M. *Stimuliruyushchie rost rasteniy bakterii v regulatsii ustoychivosti rasteniy k stressovym faktoram*. [Plant growth-promoting bacteria in regulation of plant resistance to stress factors]. *Fiziologiya rasteniy*. 2015;62(6):763-775. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330315060111>
8. Sidorova T. M., Asaturova A. M., Khomyak A. I. *Biologicheski aktivnye metabolity Bacillus subtilis i ikh rol' v kontrole fitopatogennykh mikroorganizmov (obzor)*. [Biologically active metabolites of *Bacillus subtilis* and their role in the control of phytopathogenic microorganisms (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2018;53(1):29-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2018.1.29rus>
9. Caulier S., Nannan C., Gillis A., Licciardi F., Bragard C., Mahillon J. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Front. Microbiol.* 2019;10:302. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
10. Falardeau J., Wise C., Novitsky L., Avis T. J. Ecological and mechanistic insights into the direct and indirect antimicrobial properties of *Bacillus subtilis* lipopeptides on plant pathogens. *J. Chem. Ecol.* 2013;37(7):869-878. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0319-7>
11. Hashem A., Tabassum B., Abd Allah E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impact biotic stress. *Saudi journal of biological sciences*. 2019;26(6):1291-1297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
12. Shternshis M. V., Belyaev A. A., Tsvetkova V. P., Shpatova T. V., Lelyak A. A., Bakhvalov S. A. *Biopreparaty na osnove bakteriy roda Bacillus dlya upravleniya zdorov'em rasteniy*. [Biological products based on *Bacillus* bacteria to manage plant health]. Novosibirsk, 2016: pp. 34-35.
13. Khayrullin R. M., Nedorezkov V. D., Mubinov I. G., Zakharova R. Sh. *Povyshenie ustoychivosti pshenitsy k abioticheskim stressam endofitnym shtammom Bacillus subtilis*. [Increasing of wheat firmness to abiotic stresses of endophytic strain *Bacillus subtilis*]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Vestnik of the Orenburg State University. 2007;(2(65)):129-134. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11609752>
14. Asaturova A. M., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Zharnikova M. D. *Otbor perspektivnykh agentov biologicheskogo kontrolya dlya zashchity ozimoy pshenitsy ot vozbuditeley fuzarioza*. [Selection of perspective biological control agents for fall WHEAT PROTECTION from *Fusarium* diseases]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2012;(75):824-835. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17305502>
15. Asaturova A. M., Nadykta V. D., Ismailov V. Ya., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Zharnikova M. D., Zhevnova N. A. *Izuchenie vliyaniya bakterizatsii semyan na rost i razvitiye rasteniy ozimoy pshenitsy*. [Study of the influence bacterization seed on growth and development of fall wheat]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2013;(85):43-56. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22986797>
16. Boronin A. M. *Rizosfernye bakterii roda Pseudomonas, sposobstvuyushchie rostu i razvitiyu rasteniy*. [Pseudomonas rhizospheric bacteria contributing to the growth and development of plants]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*. 1998;4(10):25-31. (In Russ.). URL: <https://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/641.html>
17. Maslennikov L. V. *Biologicheskii metod zashchity podsolnechnika i drugikh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur ot bolezney*. [The biological method of sunflower and other crops protection against diseases]. *Agro XXI*. 1999;8:9. (In Russ.).

18. Asaturova A. M., Zhevnova N. A., Pavlova M. D., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Khomyak A. I., Tsygichko A. A., Bondarchuk E. Yu., Sidorova T. M. *Effektivnost' inokulyatsii semyan ozimoy pshenitsy bakteriyami roda Bacillus, perspektivnymi dlya sozdaniya biopreparatov*. [Efficiency of winter wheat seed inoculation by the *Bacillus* bacteria promising for the development of bio medicines]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(2(62)):8-12. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-8-12>

Сведения об авторах

Асатунова Анжела Михайловна, кандидат биол. наук, директор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0060-1995>

✉ **Сидорова Татьяна Михайловна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4281-5278>, e-mail: 0166505@mail.ru

Томашевич Наталья Сергеевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7297-5929>

Жевова Наталья Андреевна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4702-1709>

Хомяк Анна Игоревна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

Козицын Александр Евгеньевич, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4645-3713>

Дубяга Валентина Михайловна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0083-6505>

Павлова Марина Дмитриевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1714-2326>

Сидоров Никита Михайлович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4713-743X>

Аллахвердян Валерия Вагеновна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», улица ВНИИБЗР, д. 1, г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

Information about the authors

Anzhela M. Asaturova, PhD in Biology, Director of All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0060-1995>

✉ **Tatyana M. Sidorova**, PhD in Biology, senior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4281-5278>, e-mail: 0166505@mail.ru

Natalia S. Tomashevich, PhD in Agriculture, senior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7297-5929>

Natalia A. Zhevnova, researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4702-1709>

Anna I. Khomyak, researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9360-2323>

Aleksander E. Kozitsyn, researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4645-3713>

Valentina M. Dubyaga, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0083-6505>

Marina D. Pavlova, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1714-2326>

Nikita M. Sidorov, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4713-743X>

Valeria V. Allahverdyan, junior researcher, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1 VNIIBZR St., Krasnodar, Krasnodar Krai, Russian Federation, 350039, e-mail: vniibzr@mail.kuban.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8679-6139>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Особенности наследования лизина у гибридов второго поколения зернового сорго

© 2020. **А. В. Алабушев**, В. В. Ковтунов✉, П. И. Костылев, Н. А. Ковтунова, Н. С. Кравченко

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

*Сорго считается одной из наиболее важных зерновых культур в мире. Зерно сорго характеризуется низким содержанием в белке незаменимых аминокислот, прежде всего лизина, что значительно снижает его кормовую ценность. Известны два мутантных гена с высоким уровнем лизина: спонтанный мутантный ген *hl*, который был первоначально идентифицирован в эфиопских линиях, и ген *P721*, который индуцирован этилметансульфонатом. Цель исследований заключалась в изучении закономерности наследования содержания лизина в зерне гибридов второго поколения сорго зернового, полученных в результате скрещиваний по двум диаллельным схемам 4x4 (I – СПЗС-11, Sb-126/4, 144 ф/8, Зерноградское 204; II – ЗСК-4, Белозёрное 100, Отбор 100, 34045). В результате гибридологического анализа установлено, что по содержанию лизина в белке сорго между включёнными в скрещивания родительскими образцами наблюдались генетические отличия в 1-3 гена. Наибольшие различия (3 гена) проявились между образцами сорго зернового 34045 и 144 ф/8. В большинстве гибридных комбинаций между привлечёнными в гибридизацию образцами наблюдались моногенные и дигенные различия. В результате оценки значения степени доминирования установлена величина проявления гена, контролирующего содержание лизина в белке сорго. Наблюдалось доминирование как меньших, так и больших значений признака. Кривые распределения частот изученных гибридов находились в пределах изменчивости родительских форм, однако в отдельных комбинациях проявились положительные трансгрессии. В комбинациях Sb-126/4 × СПЗС-11, Зерноградское 204 × СПЗС-11 для дальнейшей селекционной работы выделены формы с высоким содержанием лизина в зерне (более 3,5%).*

Ключевые слова: лизин в белке, *Sorghum bicolor*; ген, зерно, расщепление, доминирование, асимметрия

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема №0706-2019-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Алабушев А. В., Ковтунов В. В., Костылев П. И., Ковтунова Н. А., Кравченко Н. С. Особенности наследования лизина у гибридов второго поколения зернового сорго. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):273-282. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.273-282>

Поступила: 06.04.2020

Принята к публикации: 28.05.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Features of lysine inheritance in grain sorghum hybrids of the second generation

© 2020. **Andrey V. Alabushev**, Vladimir V. Kovtunov✉, Pavel I. Kostylev, Nataliya A. Kovtunova, Nina S. Kravchenko

Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russian Federation

*Sorghum is one of the most important grain crops in the world. Sorghum grain is characterized by a low percentage of essential amino acids in protein, primarily lysine, which significantly reduces its feed value. There are two known mutant genes with a large lysine percentage, namely the spontaneous mutant *hl* gene, which was originally identified in Ethiopian lines, and the *P721* gene, which is induced by ethylmethanesulfonate. The purpose of the current study was to identify the patterns of inheritance of the lysine percentage in grain sorghum hybrids of the second generation which were obtained by hybridization according to two 4x4 diallelic schemes (I - SPZS-11, Sb-126/4, 144 f/8, Zernogradskoe 204; II - ZSK-4, Belozerno 100, Otkor 100, 34045). The hybridological analysis has established that in lysine percentage in sorghum protein there are genetic differences of 1-3 genes between the parental samples included in the hybridization. The greatest differences (3 genes) were identified between sorghum grain samples 34045 and 144 f/8. In most hybrid combinations there have been identified monogenic and digenic differences between the samples involved in hybridization. The estimation of dominance degree has identified the value of the gene manifestation, that controls lysine percentage in sorghum protein. There has been determined the dominance of both large and small values of the trait. The frequency distribution curves of the studied hybrids were within the variability of the parental forms, however, there were positive transgressions in some combinations. In the combinations Sb-126/4 × SPZS-11, Zernogradskoe 204 × SPZS-11 there have been identified the forms with a large lysine percentage in grain (more than 3.5%) for further breeding process.*

Keywords: lysine percentage in protein, *Sorghum bicolor*; gene, grain, splitting, dominance, asymmetry

Acknowledgment: the research was carried out within the state assignment of the Agricultural Research Center “Donskoy” (theme No. 0706-2019-0001).

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

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

For citations: Alabushev A. V., Kovtunov V. V., Kostylev P. I., Kovtunova N. A., Kravchenko N. S. Features of lysine inheritance in grain sorghum hybrids of the second generation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3): 273-282. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.273-282>

Received: 06.04.2020

Accepted for publication: 28.05.2020

Published online: 23.06.2020

Сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) считается одной из наиболее ценных зерновых культур в мире. Его выращивают в 86 странах на площади 38-45 млн га при годовом объеме производства зерна около 58 млн тонн. Сорго является одним из основных источников белка для миллионов людей в Африке и Азии, а также сельскохозяйственных животных во всем мире [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Зерно сорго характеризуется невысоким содержанием в белке незаменимых аминокислот, прежде всего лизина, что существенно снижает его кормовую ценность. Биологическая значимость высоколизинового корма по сравнению с обычным высокая, поэтому целесообразно не только увеличить количество получаемой продукции, но и улучшить её качество [7, 8, 9, 10, 11].

Повышение концентрации лизина управляется рецессивным геном *hl*. Причём наличие данного гена влияет на увеличение концентрации лизина, аргинина, аспарагиновой кислоты, глицина, триптофана и снижение количества глутаминовой кислоты, пролина, аланина, лейцина [12].

Впервые о гене *hl* сообщили в 1973 г. R. Singh и J. D. Axtell [12], которыми были идентифицированы две линии эфиопского сорго IS 11758 и IS 11167 с высоким содержанием лизина – 3,3 и 3,1 г на 100 г белка, что на 60-70 % выше по сравнению с другими образцами сорго. Кроме того, эти линии отличаются высоким уровнем белка – 17,2 и 15,7 % соответственно. Они допустили, что повышенная концентрация лизина в каждой линии контролируется одним рецессивным геном, хотя неизвестно, являются ли гены из обеих линий аллельными. Зерно сорго с высоким содержанием лизина имело мучнистый эндосперм, было морщинистое и характеризовалось низкой массой 1000 зёрен. Предположено, что морщинистый фенотип, связанный с высоким содержанием лизина в исходных эфиопских линиях сорго, может быть обусловлен плеiotропным эффектом самого гена *hl*. Также это может быть следствием действия генов-модификаторов, которые изменяют нормаль-

ную конфигурацию зерна сорго. Полное отсутствие стекловидного крахмала в тканях эндосперма может оказывать влияние на конфигурацию зерна. Зерновки с низким содержанием лизина были выполнены и имели стекловидный эндосперм, а зерновки с высоким содержанием лизина обладали мучнистым эндоспермом. Все семена F_1 , полученные из скрещиваний с высоколизиновыми линиями, имели стекловидное зерно. В результате анализа гибридов F_2 предположили, что высокое содержание лизина имеет рецессивный характер наследования [13, 14].

В 1975 году Mohan индуцировал мутант сорго с высоким содержанием лизина, названный P-721. Во всех трех сортах сорго с высоким содержанием лизина в зародыше его содержание было в пределах нормы, но содержание в эндосперме было выше, чем в других образцах [13]. Таким образом, в настоящее время известны два мутантных гена, детерминирующих высокий уровень лизина: спонтанный мутантный ген *hl*, который был первоначально идентифицирован в эфиопских линиях, и ген *P721*, который индуцирован этилметансульфонатом [14, 15].

Цель исследований – изучить особенности наследования содержания лизина в белке зерна F_2 сорго зернового.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном участке лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, а также в лаборатории биохимической оценки селекционного материала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область). Гибридизация проведена в 2009 году, анализ гибридов второго поколения проводили в 2011-2012 годах.

В качестве объекта исследования использованы родительские образцы, а также гибриды F_2 сорго зернового, полученные по двум диаллельным схемам 4x4 (I – Зерноградское 204, Sb-126/4, 144 ф/8, СПЗС-11; II – ЗСК-4, 34045, Белозёрное 100, Отбор 100).

Посев проводили в оптимальные сроки (I-II декада мая) селекционной сеялкой СПЧ-6

широкорядным способом с шириной междурядья 70 см и нормой высева 280 тыс. шт./га. Площадь делянки 4,9 м².

Содержание лизина определяли методом «связывания красителя ацилан оранж»¹ по 100-150 образцов у родительских форм и 250-300 у гибридных комбинаций.

Для генетического анализа содержания лизина в белке у гибридов второго поколения использовали компьютерную программу поиска моделей расщепления Полиген А². Степень доминирования определяли по методу В. Griffing³.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенного гибридологического анализа гибридов F₂ отмечено, что по содержанию

лизина в белке сорго между привлеченными в гибридизацию исходными формами проявились генетические различия, обусловленные неаллельным взаимодействием 1-3 генов разной силы действия. Условно назовем эти гены А, В и С.

Образцы Зерноградское 204 и 144 ф/8 имели максимальное содержание лизина в белке (3,37 и 3,46 %) и не различались по аллельному составу генов. Это доказывается тем, что кривые распределения частот (КРЧ) признака родительских образцов и гибрида характеризовались сходной конфигурацией, а вершины почти совпадали (рис. 1). Поэтому их генотипы имеют генную формулу AABVCC.

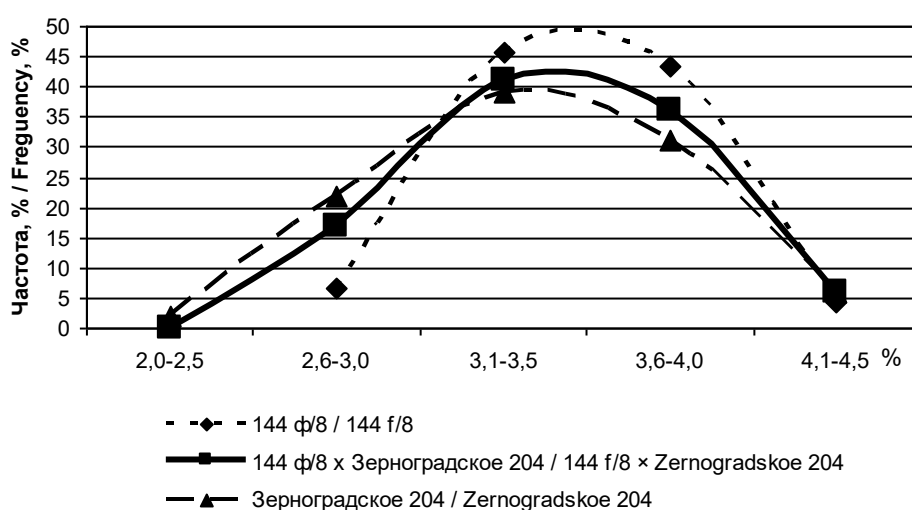


Рис. 1. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F₂ 144 ф/8 × Зерноградское 204 /

Fig. 1. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F₂ 144 f/8 × Zernogradskoe 204

В этом блоке диаллельного скрещивания образец 144 ф/8 отличался по содержанию лизина (3,46 %) от образцов Sb-126/4 (2,74 %) и СПЗС-11 (2,53 %), при этом последние также различались между собой на 0,21 %. Наибольшие различия по лизину проявились между образцами 144 ф/8 и СПЗС-11 (0,93 %). Генетический анализ показал, что образец 144 ф/8 отличается от СПЗС-11 по аллельному состоянию двух пар генов. Вершина КРЧ гибрида 144 ф/8 × СПЗС-11 находилась посередине

не между родительскими формами. В результате анализа распределения частот признака «содержание лизина» в этой комбинации отмечено, что КРЧ гибрида была симметричной (As = 0,02), а степень доминирования (hp = 0,05) свидетельствует об его отсутствии. Установлено, что на долю гибрида относилось примерно 6,25 % частот родительской формы с большим содержанием лизина, что указывает на дигибридное расщепление (рис. 2). Суммарная сила этих двух генов составляет 0,93 %.

¹Рядчиков В. Г. Улучшение зерновых белков и их оценка. М.: Колос, 1978. С. 110-114.

²Мережко А. Ф. Использование менделевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков. Экологическая генетика культурных растений: мат-лы школы молодых ученых. Краснодар, 2005. С. 107-117.

³Griffing B. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Austral. J. Biol. Sci. 1956;(9):463-493.

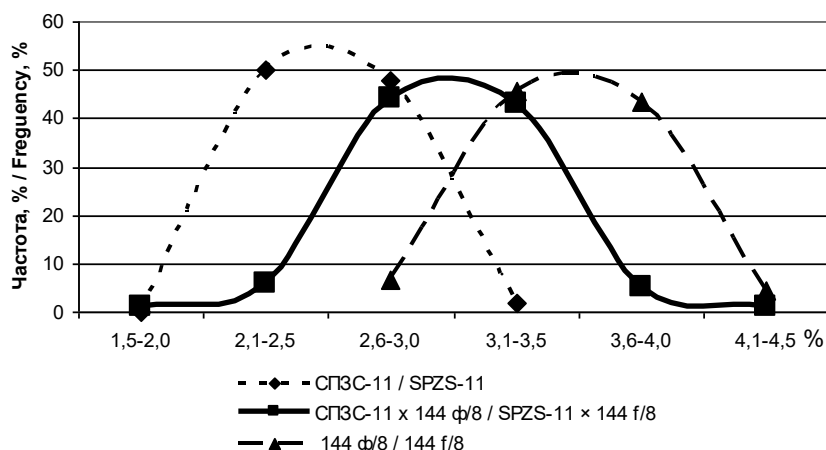


Рис. 2. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F₂ СПЗС-11 × 144 ф/8 /

Fig. 2. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F₂ SPZS-11 × 144 f/8

Аналогичный результат получен и в комбинации СПЗС-11 × Зерноградское 204. Генетический анализ показал, что они также отличаются по аллельному состоянию двух пар генов, но их сила равняется 0,84 %. Кривая распределения частот содержания лизина в белке зерна гибрида второго поколения была

симметричной ($A_s=0,03$). Это указывает на отсутствие доминирования признака ($h_p = -0,02$). Гибриду соответствовало примерно по 1/16 крайних частот каждой исходной формы, что говорит о дигенных различиях между данными образцами. Расщепление происходило в соотношении 1:4:6:4:1 (рис. 3).

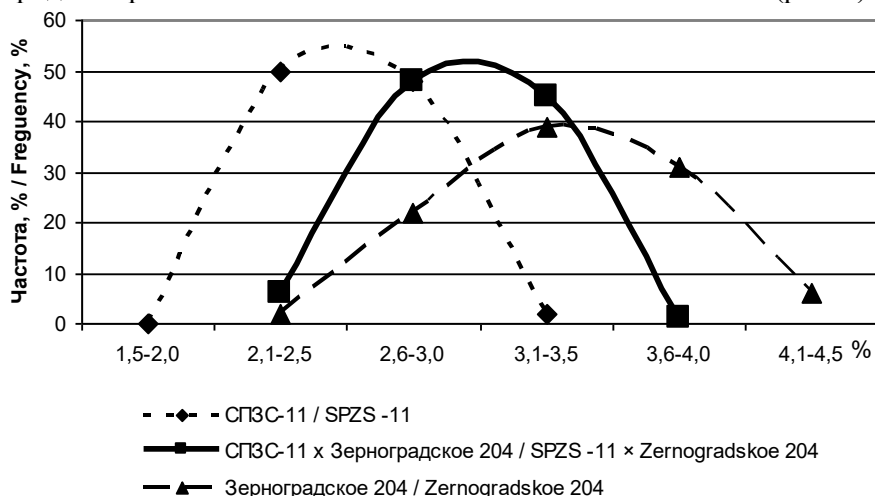


Рис. 3. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F₂ СПЗС-11 × Зерноградское 204 /

Fig. 3. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F₂ SPZS-11 × Zernogradskoe 204

Анализ гибридной комбинации СПЗС-11 × Sb-126/4 показал трансгрессивное расщепление (рис. 4) как в прямом, так и в обратном скрещивании. Полученная информация свидетельствует о том, что данные образцы имели в разных локусах и доминантные, и рецессивные аллели генов. У гибрида выщепилось 9/16 растений с двумя доминантными генами А и В, которые вызвали положительную трансгрессию. В этом случае генотип образца СПЗС-11 можно обозначить формулой $aaBBcc$,

а образца Sb-126/4 – $AABbcc$. Оба они отличаются от образца 144 ф/8 ($AABBCC$) и между собой по двум парам генов, однако сила этих генов различается. Гибрид, получивший оба доминантных аллеля А и В, превысил большую родительскую форму Sb-126/4 на 0,29 %. Это величина силы гена В.

У гибрида Sb-126/4 × Зерноградское 204 также установлено дигенное расщепление, которое хорошо укладывается в схему $AABbcc \times AABBCC$ (рис. 5).

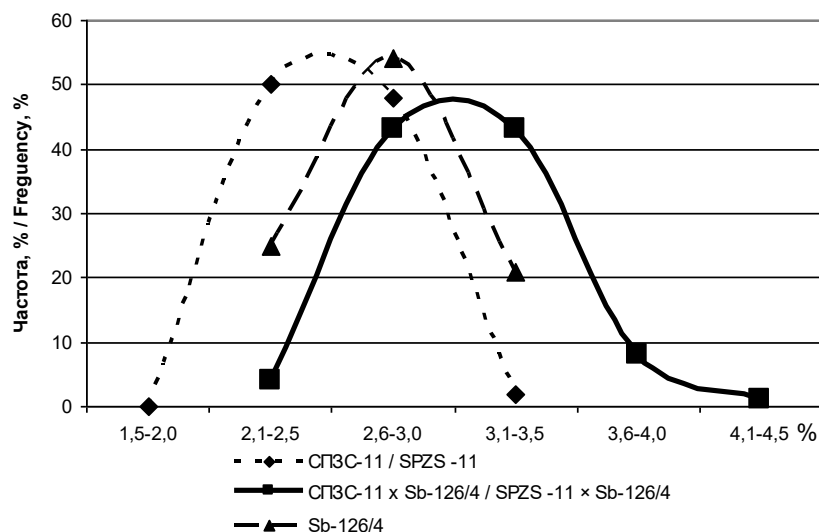


Рис. 4. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F₂ СПЗС-11 × Sb-126/4 /

Fig. 4. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F₂ SPZS -11 × Sb-126/4

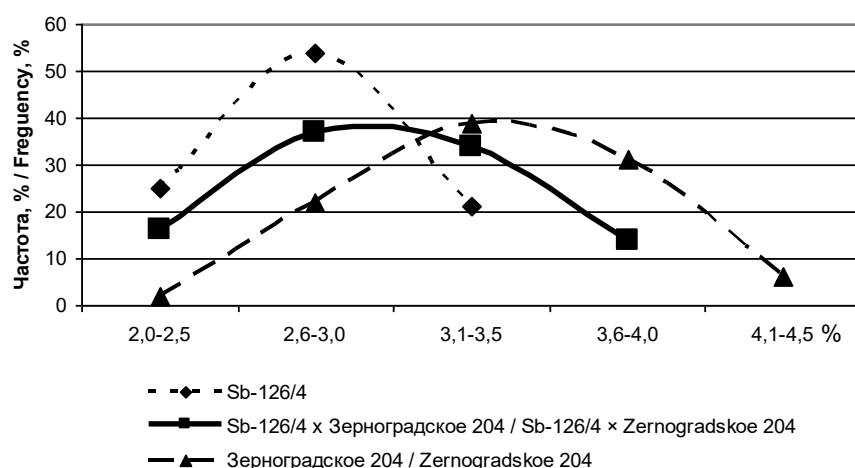


Рис. 5. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F₂ Sb-126/4 × Зерноградское 204 /

Fig. 5. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F₂ Sb-126/4 × Zernogradskoe 204

Расчеты показывают, что зерно растений с генотипом AABVcc должно содержать 3,03 % лизина (2,74+0,29). Такой образец есть во втором блоке диаллельного скрещивания – Отбор 100 (3,03 %). Самое низкое содержание лизина было у образца 34045 – 2,41 %. Промежуточное между ними содержание имелось у образца ЗСК-4 (2,88 %) и Белозерное 100 (2,81 %).

Гибридологический анализ и сопоставление частот исходных образцов и крайних частот гибрида популяции F₂ 34045 × Отбор 100 показал отличия по двум парам генов и расщепление в соотношении 15:1 (рис. 6).

Степень доминирования ($h_p = 0,45$) свидетельствует о частичном доминировании больших значений признака, а КРЧ была смещена вправо. Сила генов равнялась 0,58 %. В данной комбинации выделились формы с высокой концентрацией лизина в белке. У образца 34045 содержание лизина (2,41 %) было меньше, чем у образца из 1-го блока СПЗС 11 (2,53 %), генотип которого имел формулу aabVcc. Следовательно, генотип 34045 был рецессивным по всем аллелям, а скрещивание было типа aabbcc × AABVcc, т. е. родительские формы различались по аллелям гена А и В.

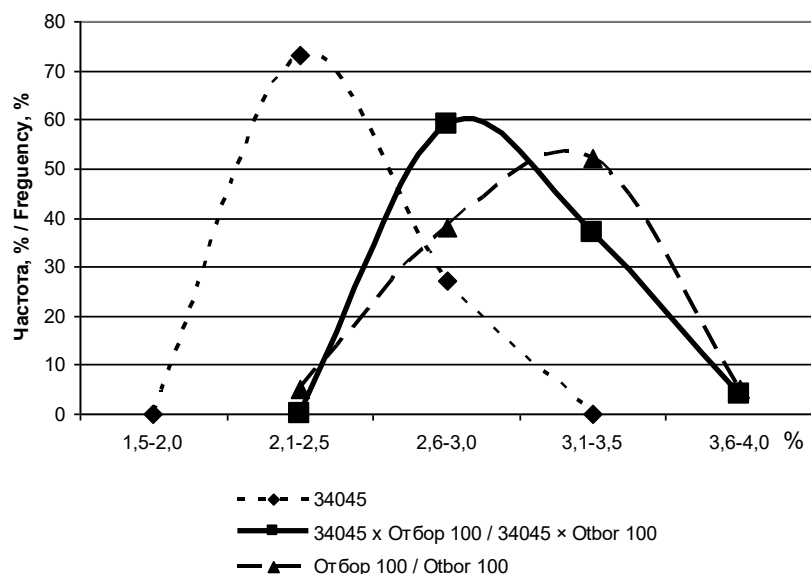


Рис. 6. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Отбор 100 /

Fig. 6. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F_2 34045 × Otbor 100

Анализ второго поколения гибрида Белозерное 100 × ЗСК-4 с помощью программы Полиген А показал, что они не различаются по аллельному составу генов, так как конфигурации КРЧ их и гибрида были идентичными. Поскольку содержание лизина у них было на уровне образца Sb-126/4, имеющего генотип AAbbсс, то можно предположить, что

они идентичны. Это подтверждается и графиками других гибридов.

В комбинации 34045 × ЗСК-4 кривая распределения частот гибрида характеризуется левосторонней асимметрией ($As = -0,32$), а степень доминирования ($hp = 0,31$) указывает на частичное доминирование большего значения признака (рис. 7).

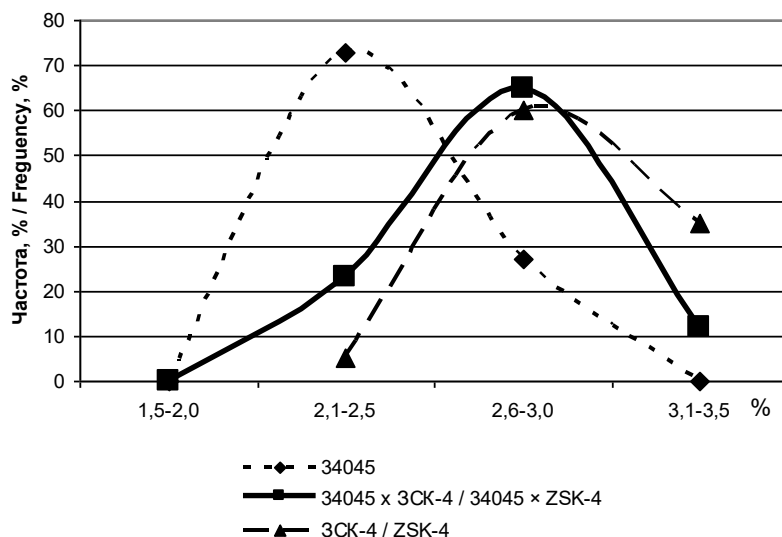


Рис. 7. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × ЗСК-4 /

Fig. 7. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F_2 34045 × ZSK-4

Сопоставление крайних частот гибрида и частот исходных форм выявило отличие между родительскими образцами по одной паре генов, т. к. расщепление происходило в соот-

ношении 1:3. Родительские формы различались по аллелям гена А, поэтому скрещивание было типа aabbсс × AAbbсс. Сила действия гена А во втором блоке скрещивания равна 0,47 %.

Анализ распределения частот признака «содержание лизина» в комбинации 34045 × Белозёрное 100 показал идентичные результаты, а КРЧ этого гибрида обладала левосторонней асимметрией ($As = -0,19$) и указывала на неполное доминирование большего значения признака ($hp = 0,45$). Сравнение краевых

частот гибрида и исходных форм показало отличие между родительскими образцами по одной паре генов (расщепление в соотношении 1:3). В результате проведённой гибридизации между образцами 34045 и Белозёрное 100 выделились трансгрессивные формы с содержанием лизина в белке 3,69-3,93 % (рис. 8).

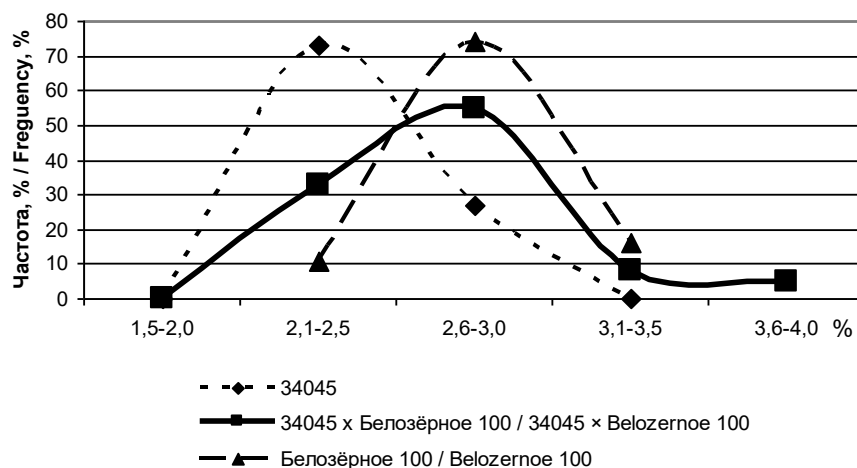


Рис. 8. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Белозёрное 100 /

Fig. 8. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F_2 34045 × Belozernoe 100

В комбинации Белозёрное 100 × Отбор 100 кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ($As = 0,25$), а степень доминирования ($hp = -0,38$) говорит о частичном

доминировании меньшего значения признака. На долю гибрида приходилось 25 % частот родительской формы Отбор 100, что соответствует расщеплению в соотношении 3:1 (рис. 9).

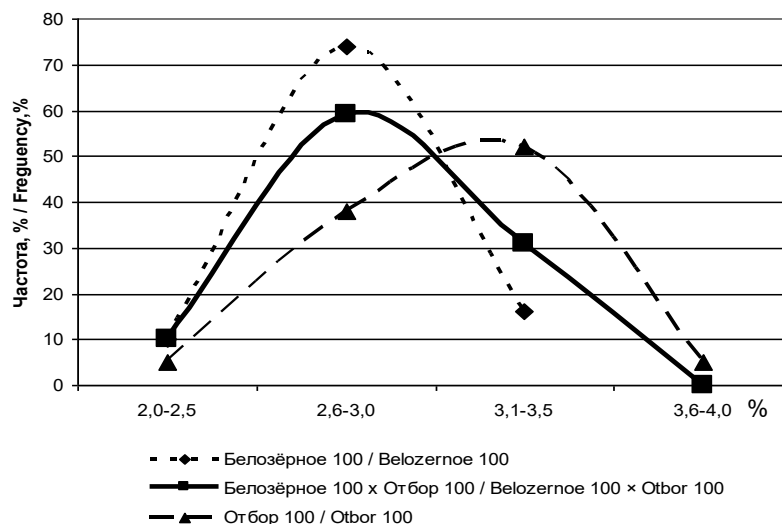


Рис. 9. КРЧ признака «содержание лизина в белке» зерна сорго у родительских форм и гибрида F_2 Белозёрное 100 × Отбор 100 /

Fig. 9. Frequency distribution of the trait 'lysine percentage' in sorghum grain of parental forms and hybrid F_2 Belozernoe 100 × Otkor 100

Моногенные различия отмечены и у гибрида ЗСК-4 × Отбор 100. Тригенные различия имеются между образцами 34045 и Зерно-

градское 204, а также 34045 и 144 ф/8. Они установлены путем сопоставления данных двух блоков диаллельных скрещиваний.

В результате проведённых скрещиваний по двум диаллельным схемам отмечено проявление положительной трансгрессии по признаку «содержание лизина в белке» в прямых и обратных скрещиваниях между образцами Sb-126/4 и СПЗС-11, ЗСК-4 и Отбор 100, а также в комбинациях 34045 х Белозёрное 100 и ЗСК-4 х Белозёрное 100, где в качестве отцовской формы использовали образец Белозёрное 100.

В комбинациях Sb-126/4 × СПЗС-11, Зерноградское 204 × СПЗС-11 для последующей селекционной работы отобраны формы с высоким содержанием лизина в белке зерна сорго (более 3,5 %).

Комплексное обобщение полученных данных позволило составить схему наследования различных уровней содержания лизина в белке (рис. 10).

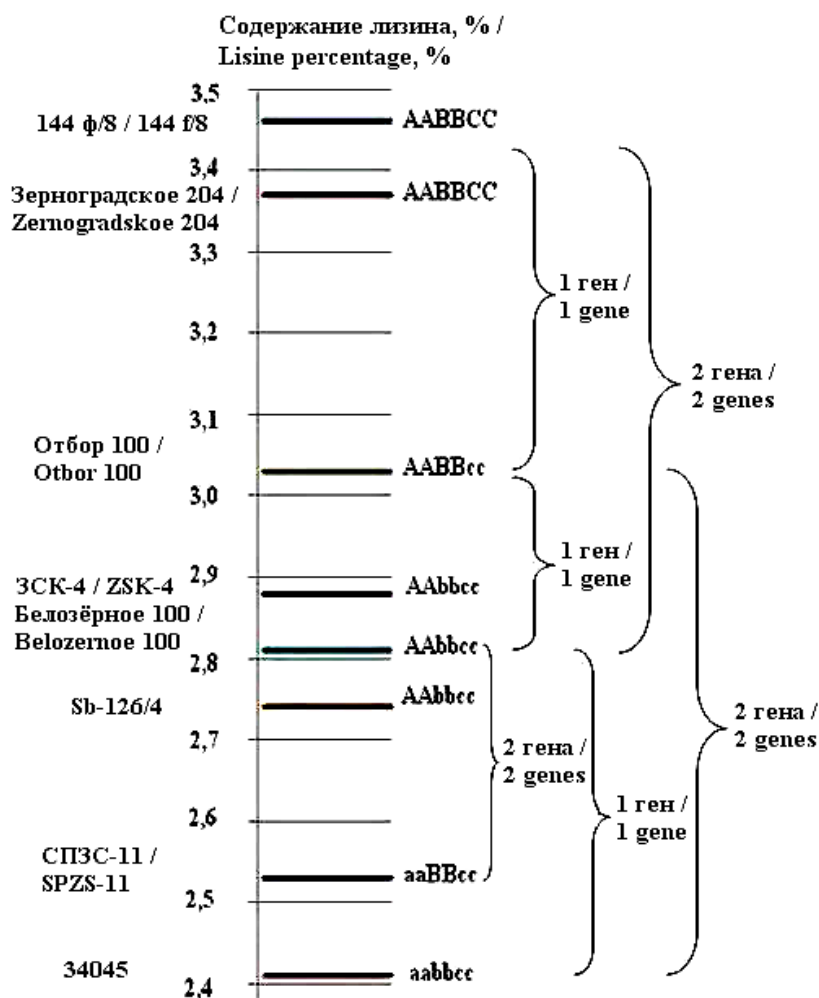


Рис. 10. Генотипические различия родительских форм по «содержанию лизина в белке» зерна сорго /

Fig. 10. Genotypic differences of parental forms in lysine percentage in grain

Таким образом, полученная информация о наследовании признака «содержание лизина в белке» позволит более целенаправленно вести селекционную работу с зерновым сорго на повышение его уровня в новых сортах.

Закключение.

1. В проведённых исследованиях по изучению наследования содержания лизина в белке гибридов F₂ между привлечёнными

в гибридизацию 8-ю образцами сорго зернового установлены различия в 1-3 гена.

2. Образцы 144 ф/8 и Зерноградское 204 имели генотип AABBCC, Отбор 100 – AABBcc, ЗСК-4, Белозёрное 100 и Sb-126/4 – AAbbcc, СПЗС-11 – aaBBcc, 34045 – aabbcc.

3. Для проведения дальнейшей селекционной работы отобраны формы с высоким содержанием лизина в белке (более 3,5 %).

Список литературы

1. Tesso T., Ejeta G., Chandrashekar A., Huang C., Tandjung A., Lewamy M., Axtell J. D., Hamaker B. R. A Novel Modified Endosperm Texture in a Mutant High-Protein Digestibility/High-Lysine Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Cereal Chem.*, 2006;83(2):194-201. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0194>
2. Taylor J. R. N., Schober T. J., Bean S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *J Cer Sci.*, 2006;(44(3)):252-271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.009>
3. Васильченко С. А., Метлина Г. В., Ковтунов В. В. Влияние метеоусловий на продуктивность сорго зернового в южной зоне Ростовской области. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016;(120):744-754. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26469981>
4. Романюкин А. Е., Шишова Е. А., Ковтунова Н. А., Ермолина Г. М. Признаковая и генетическая коллекция скороспелых форм сахарного сорго. Аграрный вестник Урала. 2016;7(149):46-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27191817>
5. Mofokeng A. M., Shimelis H., Laing M. Breeding strategies to improve sorghum quality. *AJCS*. 2017;11(02):142-148. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p127>
6. Ковтунов В. В. Посевная площадь и урожайность сорго зернового. Зерновое хозяйство России. 2018;(3):47-49. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49>
7. Шепель Н. А. Селекция и семеноводство гибридного сорго. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1985. 256 с.
8. Шепель Н. А. Сорго. Волгоград: Комитет по печати, 1994. 448 с.
9. Ferreira R. R., Meinhardt L. W., Azevedo R. A. Lysine and threonine biosynthesis in sorghum seeds: Characterization of aspartate kinase and homoserine dehydrogenase isoenzymes. *Ann Appl Biol*. 2006;149(1):77-86. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00074.x>
10. Wu Y., Yuan L., Guo X., Holding D. R., Messing J. Mutation in the seed storage protein kafirin creates a high-value food trait in sorghum. *Nat Commun*. 2013;(4):2217. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms3217>
11. Лушпина О. А., Сухенко Н. Н., Ковтунов В. В. Коллекционный материал сорго зернового для селекции на продуктивность. Зерновое хозяйство России. 2016;(3): 13-16. Режим доступа: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/163>
12. Singh R., Axtell J. D. High lysine mutant gene (hl) that improves protein quality and biological value of grain sorghum. *Crop Sci*. 1973;13(5):535-539. URL: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci1973.0011183X001300050012x>
13. Fano D. Breeding of sorghum for high lysine in the seed. *International Journal of Agriculture Sciences*. 2017;9(43):4702-4707. URL: <http://www.researchgate.net/publication/327384832>
14. Fantaye B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review. *J. Advan. Plant Sci.*, 2018;1(3):307. URL: <https://www.researchgate.net/publication/329191838>
15. Oria M. P., Hamaker B. R., Axtell J. D., Huang C. P. A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000;97(10):5065-5070. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.080076297>

References

1. Tesso T., Ejeta G., Chandrashekar A., Huang C., Tandjung A., Lewamy M., Axtell J. D., Hamaker B. R. A Novel Modified Endosperm Texture in a Mutant High-Protein Digestibility/High-Lysine Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Cereal Chem.*, 2006;83(2):194-201. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0194>
2. Taylor J. R. N., Schober T. J., Bean S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *J Cer Sci.*, 2006;(44(3)):252-271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.009>
3. Vasil'chenko S. A., Metlina G. V., Kovtunov V. V. *Vliyaniye meteoussloviy na produktivnost' sorgo zernovogo v yuzhnoy zone Rostovskoy oblasti*. [The effect of weather conditions on grain sorghum productivity in the southern zone of the Rostov region]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016;(120):744-754. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26469981>
4. Romanyukin A. E., Shishova E. A., Kovtunova N. A., Ermolina G. M. *Priznakovaya i geneticheskaya kolleksiya skorospelykh form sakharного sorgo*. [Trait and genetic collection of the early maturing forms of sweet sorghum]. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2016;7(149):46-50. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27191817>
5. Mofokeng A. M., Shimelis H., Laing M. Breeding strategies to improve sorghum quality. *AJCS*. 2017;11(02):142-148. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p127>
6. Kovtunov V. V. *Posevnaya ploshchad' i urozhaynost' sorgo zernovogo*. [Sown area and productivity of grain sorghum]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(3):47-49. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49>
7. Shepel' N. A. *Seleksiya i semenovodstvo gibridnogo sorgo*. [Breeding and seed production of hybrid sorghum]. *Rostov-on-Don: Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta*, 1985. 256 p.
8. Shepel' N. A. *Sorgo*. [Sorghum]. *Volgograd: Komitet po pechati*, 1994. 448 p.
9. Ferreira R. R., Meinhardt L. W., Azevedo R. A. Lysine and threonine biosynthesis in sorghum seeds: Characterization of aspartate kinase and homoserine dehydrogenase isoenzymes. *Ann Appl Biol*. 2006;149(1):77-86. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00074.x>

10. Wu Y., Yuan L., Guo X., Holding D. R., Messing J. Mutation in the seed storage protein kafirin creates a high-value food trait in sorghum. *Nat Commun.* 2013;(4):2217. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms3217>
11. Lushpina O. A., Sukhenko N. N., Kovtunov V. V. *Kollektsionnyy material sorgo zernovogo dlya selektsii na produktivnost'*. [The collection material of grain sorghum for the selection on productivity]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2016;(3):13-16. (In Russ.). URL: <https://www.zhros.ru/jour/article/view/163>
12. Singh R., Axtell J. D. High lysine mutant gene (hl) that improves protein quality and biological value of grain sorghum. *Crop Sci.* 1973;13(5):535-539.
URL: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci1973.0011183X001300050012x>
13. Fano D. Breeding of sorghum for high lysine in the seed. *International Journal of Agriculture Sciences.* 2017;9(43):4702-4707. URL: <http://www.researchgate.net/publication/327384832>
14. Fantaye B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review. *J. Advan. Plant Sci.*, 2018;1(3):307. URL: <https://www.researchgate.net/publication/329191838>
15. Oria M. P., Hamaker B. R., Axtel J. D., Huang C. P. A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000;97(10):5065-5070. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.080076297>

Сведения об авторах

Алабушев Андрей Васильевич, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, директор, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Зерноградский район, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8675-1021>

✉ **Ковтунов Владимир Викторович**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Зерноградский район, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7510-7705>, e-mail: kowtunow85@mail.ru

Костылев Павел Иванович, доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Зерноградский район, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4371-6848>

Ковтунова Наталья Александровна, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Зерноградский район, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0409-5855>

Кравченко Нина Станиславовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д.3, Зерноградский район, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

Information about authors

Andrey V. Alabushev, academician of RAS, Doctor of Agricultural Sciences, professor, director of Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Zernogradsky district, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8675-1021>

✉ **Vladimir V. Kovtunov**, PhD in Agricultural science, leading researcher, the Laboratory of Grain Sorghum Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Zernogradsky district, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7510-7705>, e-mail: kowtunow85@mail.ru

Pavel I. Kostylev, Doctor of Agricultural Science, professor, chief researcher, the Laboratory of Rice Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Zernogradsky district, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4371-6848>

Nataliya A. Kovtunova, PhD in Agricultural science, leading researcher, the Laboratory of Forage Sorghum Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Zernogradsky district, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0409-5855>

Nina S. Kravchenko, PhD in Biological science, senior researcher, the Laboratory of Biochemical Estimation of Breeding Material and Seed Quality, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Zernogradsky district, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Изучение нового сорта картофеля Вычегодский по комплексу хозяйственно ценных признаков

© 2020. А. Г. Тулинов✉, А. Ю. Лобанов

Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Российская Федерация

В условиях Республики Коми в 2017-2019 гг. проведена комплексная оценка нового среднераннего столового сорта картофеля Вычегодский. В качестве стандартов использовали два районированных и один рекомендованный для I Северного региона РФ сорта картофеля с разными сроками созревания и параметрами отзывчивости на условия среды (коэффициент линейной регрессии урожая сортов b_i): Удача – ранний, слабо реагирующий ($b_i = 0,5$); Невский – среднеранний, обладающий зависимостью, близкой к линейной ($b_i = 1,0$); сорт местной селекции Зырянец – среднеранний, наиболее отзывчивый ($b_i = 1,7$). В 2017 году установлено достоверное превышение урожайности клубней сорта Вычегодский над стандартом Невский на 7,0 т/га. В среднем за три года исследований урожайность нового сорта составила 27,2 т/га (на 1,7-2,0 т/га выше контрольных сортов). Формирование урожая сорта Вычегодский происходило преимущественно в последние 20 дней вегетации: набор средней массы клубня увеличился за этот период на 134 %. В целом же сорт Вычегодский формировал 10-12 клубней массой 40-60 г. Пластичность сорта умеренная ($b_i = 1,2$), что оптимально для зоны рискованного земледелия. Содержание сухого вещества – 24,1 %, крахмала – 15,7 %, витамина С – 11,2 мг%. Сорт Вычегодский продемонстрировал высокую устойчивость к основным заболеваниям, поражающим ботву и клубни в период летней вегетации (фитофтороз, альтернариоз, ризоктониоз, парша обыкновенная). Молекулярно-генетическое экспертное исследование ДНК было проведено на наличие 10 основных маркер-генов устойчивости. Обнаружены гены, отвечающие за устойчивость сорта Вычегодский к раку картофеля и золотистой картофельной нематоды.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, урожайность, качество, болезни, экологическая пластичность, гены

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания № 0333-2019-0008-С-01, Рег. № НИОКТР АААА-А19-119031390055-1 и Государственного задания № 0412-2019-0051, Рег. № НИОКТР АААА-А20-120022790009-4.

Авторы выражают благодарность научно-производственной компании ООО «Синтол» за проведение генетической паспортизации нового сорта Вычегодский.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тулинов А. Г., Лобанов А. Ю. Изучение нового сорта картофеля Вычегодский по комплексу хозяйственно ценных признаков. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):283-292.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.283-292>

Поступила: 09.04.2020

Принята к публикации: 04.06.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

The study of a new potato variety Vychedodsky according to a set of economically valuable traits

© 2020. Aleksei G. Tulinov✉, Aleksander Yu. Lobanov

Institute of Agrobiotechnology, Federal Research Center, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktuvkar, Russian Federation

In the conditions of the Komi Republic in 2017-2019 a comprehensive assessment of the new medium early table variety of potato Vychedodsky was carried out. Two zoned and one recommended for the I Northern region of the Russian Federation potato varieties were used as standard. They had different periods of ripening and various parameters of responsiveness to environmental conditions (linear regression coefficient of the yield of varieties b_i). The varieties were Udacha (recommended) - early, poorly responsive ($b_i = 0.5$), Nevsky (zoned) - medium early, with close to linear dependence ($b_i = 1.0$) and the variety of local selection Zyryanets (zoned) - medium early, with the highest response coefficient ($b_i = 1.7$). In 2017, the significant excess by 7.0 t/ha of the yield of tubers of the Vychedodsky variety over the Nevsky standard was determined. On average for three years of research the productivity of the new variety was 27.2 t/ha (1.7-2.0 t/ha higher than the controls). The yield of Vychedodsky variety was formed mainly during the last 20 days of vegetation, and the average weight of a tuber had increased by 134% during that period. On the whole, Vychedodsky variety formed 10-12 tubers weighing 40-60 g. The plasticity of the variety is moderate ($b_i = 1.2$), which is optimal for a risk farming zone. The dry matter content is 24.1%, starch is 15.7%, and vitamin C is 11.2 mg%. Vychedodsky variety has demonstrated high resistance to major diseases affecting the tops and tubers during the summer vegetation period (late blight, alternariosis, rhizoctoniosis, common scab). A molecular genetic expert study of DNA for the presence of 10 major resistance marker genes has been conducted. Genes responsible for the resistance of the Vychedodsky variety to potato cancer and golden potato nematode have been revealed.

Keywords: *Solanum tuberosum*, productivity, quality, diseases, ecological plasticity, genes

Acknowledgement: the research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment No. 0333-2019-0008-C-01, Reg. No. SREDTW AAAA-A19-119031390055-1 and State assignment No.0412-2019-0051, Reg. No. SREDTW AAAA-A20-120022790009-4.

The authors are grateful to the research and production company LLC «Syntol» for carrying out genetic certification of the new Vychegodsky variety.

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

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

For citations: Tulinov A. G., Lobanov A. Yu. The study of a new potato variety Vychegodsky according to a set of economically valuable traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):283-292. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.283-292>

Received: 09.04.2020

Accepted for publication: 04.06.2020.

Published online: 23.06.2020

Ежегодно в Госреестр РФ включаются десятки сортов картофеля, а исключаются – единицы [1, 2]. Однако нестабильность условий выращивания требует непрерывности селекционного процесса и его совершенствования. Происходит глобальное изменение климата, различные болезни и вредители сельскохозяйственных культур все более и более успешно противостоят используемым препаратам защиты растений, поражают сорта, ранее считавшиеся устойчивыми к ним [3, 4, 5, 6, 7]. В связи с этим основное направление работы Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН – селекция сельскохозяйственных культур, в частности картофеля.

В 2017 году был завершен один из этапов селекционного процесса, по результатам которого выведен сорт столового назначения Вычегодский [8, 9]. Сорт передан в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений.

Данный сорт адаптирован к природно-климатическим условиям Республики Коми, которая относится к зоне рискованного земледелия: низкая сумма активных температур в течение периода вегетации ($>1200^{\circ}\text{C}$); возвратные заморозки (до первой декады июня); ранние летние заморозки (конец августа); неравномерное распределение влаги в течение лета (избыточное увлажнение в начале и конце периода вегетации с частыми засухами в середине) [10]. Длинный световой день в июне-июле (до 16-18 часов) приводит к тому, что урожай картофеля формируется преимущественно в августе, причем на это отводится всего 2-3 недели, после чего происходит массовое поражение ботвы болезнями от чрезмерного увлажнения и ночных заморозков. В связи с этим, к получаемым сортам предъявляется ряд условий, задающих общее направление селекционного процесса в Республике Коми: срок созревания не более 90 дней; высокая товарность клубней с 65-го по 90-ый день

от посадки; среднее число клубней в гнезде 8-10 шт.; высокая устойчивость к фитофторозу и другим заболеваниям по ботве [11].

Соответствие данным параметрам необходимо проверять до рекомендаций новых сортов картофеля производству [12, 13, 14]. В связи с этим в течение трех лет (2017-2019 гг.) были проведены дополнительные исследования сорта Вычегодский на показатель урожайности, качественные признаки, экологическую пластичность, а также получены результаты генетической паспортизации.

Цель исследований – изучить сорт картофеля Вычегодский по комплексу ценных хозяйственных признаков, резистентности к болезням, экологической пластичности и провести скрининг с использованием ДНК-маркеров на наличие генов устойчивости к патогенам для выращивания в условиях Крайнего Севера.

Материал и методы. Для комплексной оценки сорта картофеля Вычегодский были проведены научные исследования, которые включали в себя полевой опыт в течение трех лет (2017-2019 гг.) и генетическую паспортизацию. В полевых условиях оценивали урожайность сорта и его экологическую пластичность, фракционный и химический состав клубней. В ходе генетической паспортизации проведен поиск на наличие 10 основных маркеров генетической устойчивости.

Испытания проводили на экспериментальных полях института в шестипольном культурном севообороте, предшественник – однолетние травы. Дерново-подзолистая почва участка содержит в среднем: 3,3 % гумуса, 90,0 мг/кг азота, 597,5 мг/кг фосфора, 103,7 мг/кг почвы калия. Кислотность почвы – нейтральная ($\text{pH}_{\text{кел}} 6,4$). Анализы почвы выполнены по общепринятым методикам и ГОСТам в аналитической лаборатории ФГБУ САС «Сыктывкарская» (Республика Коми, г. Сыктывкар).

Картофель был высажен по общепринятой для сельскохозяйственных предприятий Республики Коми технологии [15]: глубина посадки 8-10 см; густота – 47600 кустов на га; схема посадки – 70х30 см. Технология включает в себя: весеннюю вспашку; обработку почвы дисковыми боронами на глубину до 15-20 см; внесение минеральных удобрений, рассчитанных по выносу, исходя из планируемого урожая в 25 т/га (N150P50K200); предпосадочное формирование гребней с последующей высадкой в них картофеля четырехрядной сажалкой СН-4Б. Защитные мероприятия против сорняков включали двукратную междурядную обработку культиватором. Обработку химическими препаратами от болезней и вредителей не осуществляли. Площадь учетной делянки – 50 м², в четырехкратной повторности¹.

Картофель высаживали в первой декаде июня, при установлении оптимальной температуры почвы 10 °С, полную уборку клубней осуществляли на 90-ый день после посадки вместе с учетом общей урожайности. В качестве контроля использовали два районированных и один рекомендованный для Республики Коми (I Северный регион РФ) сорта столового назначения с разными параметрами отзывчивости на условия среды²: Удача (рекомендованный) – ранний, слабо реагирующий (не пластичный); Невский (районированный) – среднеранний, обладающий зависимостью, близкой к линейной; сорт местной селекции Зырянец (районированный) – среднеранний, с высоким коэффициентом отзывчивости [16, 17, 18].

Учет урожайности сортов и фракционный состав клубней (среднее количество и масса одного клубня) проводили дважды – на 70-ый и 90-ый день от посадки³. Клубни, отобранные на 90-ый день, анализировали на содержание сухого вещества (ГОСТ 31640-2012),

крахмала (ГОСТ 26176-91) и витамина С (ГОСТ 24556-89) в ФГБУ САС «Сыктывкарская».

Оценка экологической пластичности сорта Вычегодский дана на основе методик S. A. Eberhart, W. A. Russell [19] и В. А. Зыкина⁴. Статистическую обработку полученных в результате исследований данных проводили путем дисперсионного анализа⁵ с помощью пакета программ Microsoft Office Excel 2007.

Генетическая паспортизация сорта Вычегодский выполнена научно-производственной компанией ООО «Синтол»⁶. Молекулярно-генетическое экспертное исследование ДНК проведено на наличие следующих 10 маркеров генов устойчивости: RYSC3; Ry186; YES3-3A (к Y-вирусу картофеля); TG-689; 57R; N195; Gro 1-4-1 (Золотистая картофельная нематода); Gro 2-2 (Бледная картофельная нематода); Sen 1 (Рак картофеля); PVX (X-вирус) [20, 21].

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия (табл. 1) за период вегетации характеризовались температурой, превышающей климатическую норму на 0,4-0,7 °С в 2018 и 2019 годах и пониженной (на 0,2 °С) в 2017 году. Количество осадков во все годы наблюдений было выше нормы. В среднем за три года количество осадков было на 20-25 % выше средних многолетних показателей.

Июнь характеризовался в целом пониженной температурой по сравнению со средней многолетней. Особенно это характерно для 2017 года, когда она была ниже на 1,8 °С. При этом первая декада июня 2018 года оказалась особенно холодной – всего 7,1 °С, фиксировались ночные заморозки. Все это проходило на фоне большого количества осадков, превышающих климатическую норму на 30-60 %. Таким образом, картофель в первый месяц после посадки во все годы наблюдения произрастал в условиях холодной сырой погоды, что отрицательно сказывалось на его росте и развитии.

¹ Коршунов А. В. Многофакторные опыты по картофелю (планирование, проведение, анализ). М.: ВНИИКС, 2002. 100 с.

² Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1: Сорта растений: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 516 с.

³ Симаков Е. А., Склярова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М.: ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2006. 70 с.

⁴ Зыкин В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сиб. отделение ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.

⁵ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

⁶ Инструкция пользователя набора реагентов «ГенЭксперт «Картофель». ООО «Синтол», 2018; Инструкция пользователя набора реагентов «ГенЭксперт «Маркеры генов устойчивости картофеля». ООО «Синтол», 2018; Руководство оператора генетического анализатора Нанофор 05. ООО НПФ «Синтол», 2017; Инструкция к ПО «ГенЭксперт «Картофель» (версия: 5.0.1.16). ООО «Синтол», 2019.

Таблица 1 – Метеорологические условия вегетационных периодов (2017-2019 гг.) /
 Table 1 – Meteorological conditions of the vegetation periods (2017-2019)

Месяц / Month	Декада / Decade	Средняя температура, °C / Average temperature, °C				Количество осадков, мм / Rainfall, mm			
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	климатическая норма / climate norm	2017 г.	2018 г.	2019 г.	климатическая норма / climate norm
Июнь / June	I	10,5	7,1	13,2	11,7	20,2	35,6	67,0	18,0
	II	14,4	12,8	12,3	14,4	43,0	30,9	10,0	19,0
	III	12,3	20,5	15,2	16,4	32,5	9,4	18,0	20,0
За месяц / Per month		12,4	13,5	13,6	14,2	95,7	75,9	95,0	57,0
Июль / July	I	15,8	18,2	15,7	16,5	13,6	36,9	16,0	24,0
	II	20,6	20,7	15,4	16,8	9,7	39,8	32,0	25,0
	III	18,6	19,4	14,9	16,6	53,0	26,3	86,0	27,0
За месяц / Per month		18,3	19,4	15,3	16,6	76,3	103,0	134,0	76,0
Август / August	I	15,0	15,6	15,6	15,6	60,4	16,2	15,0	24,0
	II	16,6	14,8	13,3	14,0	16,0	24,3	12,0	23,0
	III	16,4	13,2	13,2	12,2	7,1	11,4	10,0	22,0
За месяц / Per month		16,0	14,5	14,0	13,9	83,5	51,9	37,0	69,0
За период вегетации / During the vegetation period		12,9	13,8	13,5	13,1	316,5	308,2	350,0	252,0

Июль 2017 и 2018 годов был жарким, средняя месячная температура на 2-3 °C превышала среднюю многолетнюю на фоне нормального режима осадков в 2017 и повышенного в 2018 годах. Июль 2019 года оказался на 1,3 °C холоднее при уровне осадков, в два раза превышающем средние многолетние наблюдения.

Погодные условия в августе также сильно различались по годам. В 2017 году температура была на 2 °C выше климатической нормы на фоне повышенного количества осадков (+20 %). В 2018 и 2019 годах температура была на уровне средних многолетних наблюдений, при этом осадков выпало на 35-45 % ниже нормы.

Таким образом, в течение трех лет наблюдений зафиксированы все основные явления неустойчивого климата – возвратные летние заморозки в 2018 году, избыток влаги на фоне пониженных температур, засуха в период формирования урожая в августе 2018 и 2019 годов, что позволяет характеризовать Республику Коми как зону рискованного земледелия.

Для того чтобы дать оценку взаимодействия погодных факторов в 2017-2019 гг. и изучаемых сортов картофеля, произвели расчет индекса условий среды на основании общей

урожайности клубней на 90-ый день от посадки (табл. 2). Лучшие условия складывались в 2019 году, худшие – в 2018 г. Это можно объяснить тем, что возвратные заморозки в первой декаде июня на фоне большого количества осадков, а также недостаток влаги на фоне повышенной температуры в августе месяце в период формирования урожая оказали сильное отрицательное воздействие на продуктивность клубней (19,9-23,7 т/га). В свою очередь умеренные температуры 2019 года, а также большое количество осадков в июле месяце, позволили картофелю сформировать наибольший урожай по все годы наблюдений (27,4-33,2 т/га).

На основании урожайности и индекса условий среды можно вывести коэффициент линейной регрессии урожая сортов b_i , показывающий их реакцию на изменение условий выращивания. Установлено, что в погодных условиях Республики Коми наиболее отзывчивым на изменения условий среды является сорт Зырянец ($b_i = 1,7$), а наименее отзывчивым – Удача ($b_i = 0,5$). Сорт Невский отличается полным соответствием изменения урожайности к изменению условий выращивания ($b_i = 1,0$). Изучаемый сорт Вычегодский оказался отзывчивым на изменения условий среды ($b_i = 1,2$).

Таблица 2 – Динамика изменения урожайности картофеля (2017-2019 гг.) /
 Table 2 – Dynamics of changes in potato productivity (2017-2019)

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Productivity, t/ha								b _i
	70-ый день / 70th day				90-ый день / 90th day				
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее / average	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее / average	
Вычегодский / Vychegodsky	11,2±1,4	10,2±1,4	17,3±2,2	12,9	29,8±0,4	19,9±1,4	31,9±0,6	27,2	1,2
Зырянец, st. / Zyryanets, st.	13,8±1,2	11,3±1,5	17,1±3,0	14,1	26,0±3,6	16,3±1,4	33,2±1,1	25,2	1,7
Удача, st. / Udacha, st.	13,4±1,5	14,1±0,4	18,2±2,1	15,2	26,8±2,9	22,1±1,5	27,4±2,0	25,4	0,5
Невский, st. / Nevsky, st.	18,7±2,8	13,5±1,7	16,8±1,0	16,3	22,8±2,5	23,7±0,5	30,0±1,2	25,5	1,0
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	3,2	4,7	4,7	-	6,6	4,4	4,9	-	-
Индекс условий среды / Index of environment conditions					0,5	-5,3	4,8	-	-

Таким образом, в условиях рискованного земледелия наиболее оптимально использовать сорта Вычегодский и Удача. Самая высокая средняя урожайность за период наблюдений (27,2 т/га) и коэффициент регрессии 1,2 свидетельствуют о том, что сорт Вычегодский способен давать стабильные урожаи при значительном изменении погодных условий. Сорт Удача с коэффициентом 0,5 практически не реагирует на изменение внешних условий, но при этом обладает более низкой средней урожайностью по сравнению с сортом Вычегодский. Использование сорта Зырянец в условиях Республики Коми несет в себе значительные риски из-за его высокой реакции на изменения погодных условий. В холодные сырые годы данный сорт склонен значительно снижать свою урожайность.

Анализ полученной урожайности к 70-ому дню после посадки показал, что все сорта дают равноценный урожай, за исключением 2017 года, когда сорт Невский достоверно превысил остальные варианты на 4,9-7,5 т/га, чему способствовала теплая погода и осадки в пределах климатической нормы. При этом к 90-му дню данный сорт достоверно уступал по урожайности Вычегодскому на 7,0 т/га. В целом же установлено, что клубни картофеля сорта Вычегодский набирают товарную массу преимущественно в последние 20 дней вегетации, в то время как у сортов Невский и Удача к первому учету получено уже 60-65 % от общего урожая. К 90-ому дню клубни дан-

ного сорта были полностью сформированы, что позволяет отнести его к среднеранней группе. По результатам проведенных трехлетних исследований Вычегодский превзошел остальные сорта в опыте в среднем на 1,8-2,0 т/га.

Эти данные подтверждает анализ структуры урожая на 70-ый и 90-ый день от посадки (табл. 3). Если к первому учету сорт Вычегодский в среднем формировал 12 клубней массой 20,7 г, то ко второму их масса составляла 48,4 г, или +134 %, остальные сорта давали прирост за 20 дней всего 70-75 %.

В целом же по структуре урожая сорт Вычегодский был близок к сортам Удача и Невский (10-14 клубней в гнезде массой 40-60 г). Заметно отличался сорт Зырянец, который имел меньше более крупных клубней в гнезде (6-12 шт. со средней массой 45-70 г).

Химический анализ клубней картофеля (рис. 1) показал, что сорт Вычегодский по содержанию сухого вещества на 1,2-2,6 процентных пункта превосходит остальные изучаемые сорта (24,1 %). Данный сорт также выделялся по содержанию витамина С в клубнях картофеля – 11,2 мг%. По содержанию крахмала лучшим оказался сорт Зырянец – 16,3 %, что на 0,6-1,1 процентных пункта выше, чем у остальных сортов.

В период вегетации также проводился учет поражения ботвы и клубней растений такими заболеваниями, как фитофтороз, ризоктониоз, альтернариоз и парша обыкновенная согласно методике⁷.

⁷Киру С. Д., Костина Л. И., Трускинов Э. В., Зотеева Н. М., Рогозина Е. В., Королева Л. В., Фомина В. Е., Палеха С. В., Косарева О. С., Кирилов Д. А. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. СПб.: ГНУ ГНЦ ВИР РФ, 2010. 28 с.

Таблица 3 – Структура урожая на 70-ый и 90-ый день от посадки (2017-2019 гг.) /
 Table 3 – The structure of the yield on the 70th and 90th day since planting (2017-2019)

Сорт / Variety	Среднее количество клубней в кусте, шт. / Средняя масса одного клубня, г / The average number of tubers in the plant, pcs. / average weight of one tuber, g			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	среднее / average
70-ый день / 70th day				
Вычегодский / Vychegodsky	13,0±0,4/17,0±1,5	11,0±1,2/18,4±1,5	13,4±0,8/26,8±2,0	12,5/20,7
Зырянец, st. / Zyryanets, st.	8,4±0,1/33,0±2,8	7,4±0,4/30,8±3,0	10,2±1,6/34,9±3,1	8,7/32,9
Удача, st. / Udacha, st.	9,0±0,8 /30,0±1,6	10,4±0,4/27,4±1,2	10,7±0,9/35,7±2,2	10,0/31,0
Невский, st. / Nevsky, st.	16,2±1,5/27,2±2,2	10,4±1,0/25,8±1,2	11,3±2,0/32,8±3,4	12,6/28,6
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	2,5/3,3	3,0/6,4	3,7/9,8	-
90-ый день / 90th day				
Вычегодский / Vychegodsky	10,0±1,2/59,6±2,4	11,6±1,9/34,5±4,2	13,2±0,4/51,1±2,0	11,6/48,4
Зырянец, st. / Zyryanets, st.	8,4±0,6/62,0±6,0	7,2±1,0/45,3±7,8	11,3±1,2/62,6±5,9	9,0/56,6
Удача, st. / Udacha, st.	10,4±0,7/51,0±4,7	11,4±0,5/57±2,3	11,1±0,9/53,0±6,21	11,0/53,7
Невский, st. / Nevsky, st.	13,8±1,0/40,0±1,5	11,0±1,2/55,8±0,8	11,4±1,0/55,6±8,5	12,1/50,5
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	1,5/12,8	3,3/12,5	2,3/15,7	-

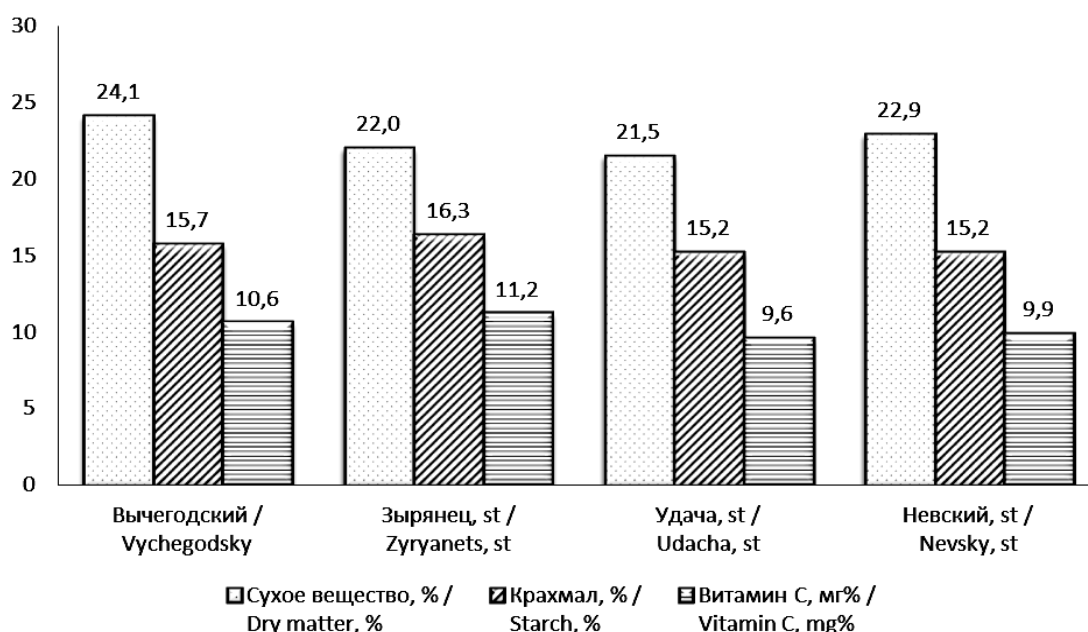


Рис. 1. Биохимический состав клубней картофеля (в среднем за 2017-2019 гг.) /
 Fig. 1. Biochemical composition of potato tubers (average for 2017-2019)

Установлено, что сорт Вычегодский имеет высокую устойчивость к фитофторозу, однако после 80-го дня от посадки становится восприимчив к данному заболеванию (7 баллов). К ризоктониозу, альтернариозу, фитофторозу по клубням и парше обыкновенной устойчивость высокая (8-9 баллов).

По данным показателей новый сорт сопоставим с сортом местной селекции Зырянец и превосходил остальные стандарты Удача и Невский, которые оказались восприимчивыми к поражению фитофторозом по ботве (5-7 баллов) и паршой обыкновенной по клубням (5-7 баллов).

Молекулярно-генетическое исследование ДНК на наличие 10-ти маркеров генов устойчивости показало, что для сорта Вычегодский характерно (рис. 2):

1. Отсутствие маркеров устойчивости к Y-вирусу картофеля (RYSC3, Ry186, YES3-3A).

2. Наличие ряда маркеров устойчивости к золотистой картофельной нематоды (TG-689, 57R, N195).

3. Отсутствие маркера устойчивости к бледной картофельной нематоды (Gra 2-2).

4. Наличие маркера устойчивости к раку картофеля (Sen 1).

5. Отсутствие маркера устойчивости к X-вирусу картофеля (PVX).

В результате ДНК исследований подтверждена устойчивость сорта Вычегодский к золотистой картофельной нематоды и раку картофеля.



Ген-эксперт Картофель

Протокол исследования

Новый Генотип (не соответствует ни одному генотипу из базы данных)

Генотип 12 локусов

№	Образец	STG0016	STI0001	STM5127	STI0004	STI0046	STI0032	STI0012	STI0013	STI0030	STI0033	STI0014	STM5114
1	12	108-172	177-200	228-274	65-120	165-240	74-101	174-213	263-320	82-120	130-165	166-197	294-326
		11-14-15	4-8	4-5	6-7-12	15-16	4-5	6-7-11	3-16	6-8-13	3-5-7	7-10	3-6

Общая хроматограмма

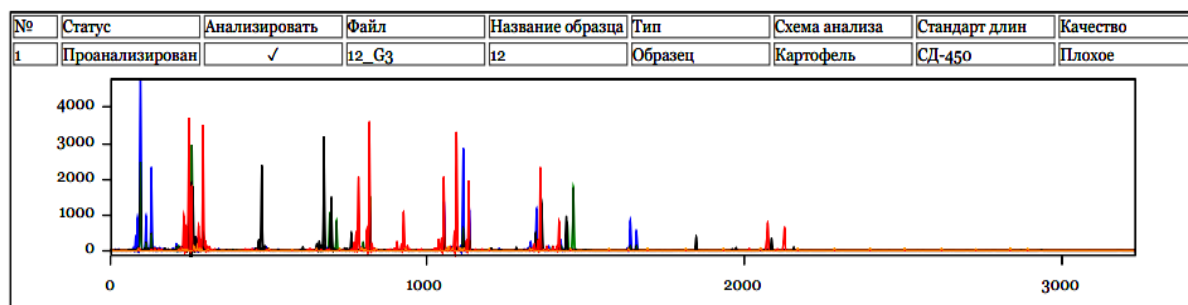


Рис. 2. Электрофореграмма (компьютерная расшифровка) генотипа картофеля сорта Вычегодский /
Fig. 2. Electrophoregram (computer decoding) of the genotype of Vychegodsky potato variety

Вывод. По результатам изучения нового сорта картофеля Вычегодский на хозяйственно ценные признаки в 2017-2019 гг. установлено:

- в 2017 году отмечено достоверное превышение урожайности клубней сорта Вычегодский над контролем Невский на 7,0 т/га, а в среднем за три года исследований – на 1,7-2,0 т/га выше контрольных вариантов;

- сорт обладает умеренной пластичностью $b_i = 1,2$, что можно считать оптимальным для зоны рискованного земледелия;

- формирование товарной урожайности преимущественно происходит во второй-третьей декадах августа, в период между 70-ым и 90-ым днем после посадки;

- в среднем формируется 10-12 клубней массой 40-60 г, что оптимально для механизированной уборки;

- по содержанию сухого вещества и крахмала сорт превосходил все рассматриваемые стандарты, а по крахмалу уступал только сорту Зорянец;

- сорт Вычегодский обладал высокой устойчивостью к основным заболеваниям, поражающим ботву и клубни в период вегетации (фитофтороз, альтернариоз, ризиктониоз, парша обыкновенная);

- сорт устойчив к раку картофеля и золотистой картофельной нематоды.

Таким образом, сорт картофеля Вычегодский обладает необходимыми хозяйственно ценными признаками, позволяющими успешно использовать его в зоне рискованного земледелия, к которой относится Республика Коми.

Список литературы

1. Сергеева З. Ф., Синцова Н. Ф., Лыскова И. В. Новый сорт картофеля Голубка. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;4(41):18-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21699654>
2. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А. Сортосые ресурсы картофеля для целевого выращивания. Картофель и овощи. 2017;(11):24-26. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf
3. Анисимов Б. В., Белов Г. Л., Варицев Ю. А., Еланский С. Н., Журомский Г. К., Завриев С. К., Зейрук В. Н., Иванюк В. Г., Кузнецова М. А., Пляхневич М. П., Пшеченков К. А., Симаков Е. А., Склярова Н. П., Сташевски З., Усков А. И., Яшина И. М. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. М.: Картофелевод, 2009. 272 с.
4. Пшеченков К. А., Смирнов А. В., Мальцев С. В. Современное состояние и перспективы развития картофельного комплекса России. Защита картофеля. 2017;(1):22-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30309435>
5. Коршунов А. В., Симаков Е. А., Лысенко Ю. Н., Анисимов Б. В., Митюшкин А. В., Гаитов М. Ю. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства. Достижения науки и техники АПК. 2018;3(32):12-20. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>
6. Синцова Н. Ф. Источники устойчивости картофеля к вирусным болезням. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019;(3(173)):42-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39413096>
7. Котова З. П., Евдокимова З. З., Калашник М. В., Головина Л. Н., Челнокова В. В. Подбор перспективных гибридов картофеля по параметрам их адаптивности для условий Европейского Севера. Аграрный вестник Урала. 2019;7(186):26-32. DOI: https://doi.org/10.32417/article_5d52af44264156.24918284
8. Шморгунов Г. Т., Пузанова И. Е., Тулинов А. Г. Оценка перспективных селекционных номеров и сортов картофеля в условиях Республики Коми. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012;4(29):17-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17846770>
9. Тулинов А. Г., Конкин П. И. Оценка перспективных сортообразцов картофеля в условиях Республики Коми. Земледелие. 2016;(8):45-47.
10. Чеботарев Н. Т., Юдин А. А., Облизов А. В., Булатова Н. В., Конкин П. И., Микушева Е. Н. Органические и минеральные удобрения как факторы повышения продуктивности агроценозов (на примере северной тайги Республики Коми): монография. Сыктывкар: ГОУ ВО КРАГСиУ, 2019. 130 с.
11. Шморгунов Г. Т., Тулинов А. Г., Конкин П. И., Коковкина С. В., Юдин А. А., Облизов А. В. Развитие агротехнологий повышения продуктивности картофелеводства в условиях Севера: монография. Сыктывкар: ФГБНУ НИИСХ Республики Коми, ГОУ ВО КРАГСиУ, 2016. 127 с.
12. Silva G. O., Pereira A. S., Azevedo F. Q., Carvvalho A. DF., Pinheiro J. B. Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits. Horticultura Brasileira. 2019;(37):423-428. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190410>
13. Derek H. L., Zhiming Z., Bernie J. Z., Ralph C. M. Organic amendment effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. Renewable Agriculture and Food Systems. 2008;23(3):250-259. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170508002330>
14. Clough M. E., Yencho G. C., Christ B., DeJong W., Halseth D., Haynes K., Henninger M., Hutchinson C., Kleinhenz M., Porter G. A., Veilleux R. E. An Interactive Online Database for Potato Varieties Evaluated in the Eastern United States. HortTechnology. 2010;20(1):250-256. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.1.250>
15. Шморгунов Г. Т., Тулинов А. Г., Булатова Н. В., Коковкина С. В., Цветкова З. К., Облизов А. В., Юдин А. А., Чеботарев Н. Т., Беляева Р. А., Триандафилов А. Ф., Блох Э. А., Макаровский П. А., Шехонин Ю. М., Хомченко А. А., Колегов Н. В., Ермолина В. И., Косолапова Т. В., Каракчиева Е. Ф., Пелевина Н. И., Шестопалова Н. С., Бабела А. В., Семенчин С. И., Романов Г. Г., Ортыкова Т. В., Лобанов А. Ю., Регорчук Н. В., Шершунова О. Н., Попов Д. А. Система земледелия Республики Коми: монография. Сыктывкар: ГОУ ВО КРАГСиУ, 2017. 225 с.
16. Глаз Н. В., Васильев А. А., Дергилева Т. Т., Мушинский А. А. Оценка экологической пластичности среднеранних и среднеспелых сортов картофеля. Дальневосточный аграрный вестник. 2019;1(49):10-19. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-11002>
17. Попова Л. А., Головина Л. Н., Шаманин А. А., Маслова В. М. Оценка продуктивности и адаптивности сортов картофеля различных групп спелости в условиях Архангельской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3(58)):26-31. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/127/127>
18. Тулинов А. Г. Результаты испытания перспективных сортов картофеля в условиях Республики Коми. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;4(47):21-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23857048>
19. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966;(6):36-40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

20. Bykova I. V., Shmakov N. A., Afonnikov D. A., Kochetov A. V., Khlestkina E. K. Achievements and prospects of applying high-throughput sequencing techniques to potato genetics and breeding. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;(7):736-743. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079059717070036>
21. Хютти А. В., Антонова О. Ю., Мироненко Н. В., Гавриленко Т. А., Афанасенко О. С. Устойчивость картофеля к карантинным болезням. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):51-61. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.223>

References

1. Sergeeva Z. F., Sintsova N. F., Lyskova I. V. *Novyy sort kartofelya Golubka*. [New potato variety Golubka]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2014;4(41):18-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21699654>
2. Simakov E. A., Anisimov B. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A. *Sortovye resursy kartofelya dlya tselevogo vyrashchivaniya*. [Varietal resources for intended potato growing]. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2017;(11):24-26. (In Russ.). URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf
3. Anisimov B. V., Belov G. L., Varitsev Yu. A., Elanskiy S. N., Zhuromskiy G. K., Zavriev S. K., Zeyruk V. N., Ivanyuk V. G., Kuznetsova M. A., Plyakhnevich M. P., Pshechenkov K. A., Simakov E. A., Sklyarova N. P., Stashevskiy Z., Uskov A. I., Yashina I. M. *Zashchita kartofelya ot bolezney, vreditel'ey i sornyakov*. [Protection of potatoes from diseases, pests and weeds]. Moscow: *Kartofelevod*, 2009. 272 p.
4. Pshechenkov K. A., Smirnov A. V., Mal'tsev S. V. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya kartofel'nogo kompleksa Rossii*. [Current state and prospects of the Russian potato industry development]. *Zashchita kartofelya*. 2017;(1):22-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30309435>
5. Korshunov A. V., Simakov E. A., Lysenko Yu. N., Anisimov B. V., Mityushkin A. V., Gaitov M. Yu. *Aktual'nye problemy i prioritetnye napravleniya razvitiya kartofelevodstva*. [Actual problems and priority directions of innovative development of potato breeding]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;3(32):12-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>
6. Sintsova N. F. *Istochniki ustoychivosti kartofelya k virusnym boleznyam*. [The sources of potato resistance to viral diseases]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2019;(3(173)):42-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39413096>
7. Kotova Z. P., Evdokimova Z. Z., Kalashnik M. V., Golovina L. N., Chelnokova V. V. *Podbor perspektivnykh gibridov kartofelya po parametram ikh adaptivnosti dlya usloviy Evropeyskogo Severa*. [Perspective potato hybrids selection by their adaptability factors in the European North conditions]. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;7(186):26-32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.32417/article_5d52af44264156.24918284
8. Shmorgunov G. T., Puzanova I. E., Tulinov A. G. *Otsenka perspektivnykh selektsionnykh numerov i sortov kartofelya v usloviyakh Respubliki Komi*. [The estimation of the perspective breeding numbers and varieties of the potato in the conditions of Komi Republic]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2012;4(29):17-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17846770>
9. Tulinov A. G., Konkina P. I. *Otsenka perspektivnykh sortoobraztsov kartofelya v usloviyakh Respubliki Komi*. [Evaluation of promising variety samples of potato under conditions of the Komi Republic]. *Zemledelie*. 2016;(8):45-47. (In Russ.).
10. Chebotarev N. T., Yudin A. A., Oblizov A. V., Bulatova N. V., Konkina P. I., Mikusheva E. N. *Organicheskie i mineral'nye udobreniya kak faktory povysheniya produktivnosti agrotsenozov (na primere severnoy taygi Respubliki Komi): monografiya*. [Organic and mineral fertilizers as factors for increasing the productivity of agroecosystems (the case of the northern taiga of the Komi Republic): monograph]. Syktyvkar: *GOU VO KRAGSiU*, 2019. 130 p.
11. Shmorgunov G. T., Tulinov A. G., Konkina P. I., Kokovkina S. V., Yudin A. A., Oblizov A. V. *Razvitie agrotekhnologii povysheniya produktivnosti kartofelevodstva v usloviyakh Severa: monografiya*. [The development of agricultural technologies for increasing the productivity of potato growing in the North: a monograph]. Syktyvkar: *FGBNU NIISKh Respubliki Komi, GOU VO KRAGSiU*, 2016. 127 p.
12. Silva G. O., Pereira A. S., Azevedo F. Q., Carvalhal A. D., Pinheiro J. B. Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits. *Horticultura Brasileira*. 2019;(37):423-428. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190410>
13. Derek H. L., Zhiming Z., Bernie J. Z., Ralph C. M. Organic amendment effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2008;23(3):250-259. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170508002330>
14. Clough M. E., Yencho G. C., Christ B., DeJong W., Halseth D., Haynes K., Henninger M., Hutchinson C., Kleinhenz M., Porter G. A., Veilleux R. E. An Interactive Online Database for Potato Varieties Evaluated in the Eastern United States. *HortTechnology*. 2010;20(1):250-256. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.1.250>
15. Shmorgunov G. T., Tulinov A. G., Bulatova N. V., Kokovkina S. V., Tsvetkova Z. K., Oblizov A. V., Yudin A. A., Chebotarev N. T., Belyaeva R. A., Triandafilov A. F., Blokh E. A., Makarovskiy P. A., Shekhonin Yu. M.,

Khomchenko A. A., Kolegov N. V., Ermolina V. I., Kosolapova T. V., Karakchieva E. F., Pelevina N. I., Shestopalova N. S., Babela A. V., Semenchin S. I., Romanov G. G., Ortyakova T. V., Lobanov A. Yu., Regorchuk N. V., Shershunova O. N., Popov D. A. *Sistema zemledeliya Respubliki Komi: monografiya*. [Farming system of the Komi Republic: monograph]. Syktyvkar: GOU VO KRAGSiU, 2017. 225 p.

16. Glaz N. V., Vasil'ev A. A., Dergileva T. T., Mushinskiy A. A. *Otsenka ekologicheskoy plastichnosti srednerannikh i srednespelykh sortov kartofelya*. [Middle-early and mid-ripening varieties of potato: environmental assessment of flexibility]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2019;1(49):10-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-11002>

17. Popova L. A., Golovina L. N., Shamanin A. A., Maslova V. M. *Otsenka produktivnosti i adaptivnosti sortov kartofelya razlichnykh grupp spelosti v usloviyakh Arkhangel'skoy oblasti*. [Estimation of productivity and adaptivity of potato varieties of different ripening groups under conditions of Arkhangel'sk region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3(58)):26-31. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/127/127>

18. Tulinov A. G. *Rezultaty ispytaniya perspektivnykh sortov kartofelya v usloviyakh Respubliki Komi*. [Test results promising varieties of potato under the conditions of the Komi Republic]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;4(47):21-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23857048>

19. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Corop Science*. 1966;(6):36-40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

20. Bykova I. V., Shmakov N. A., Afonnikov D. A., Kochetov A. V., Khlestkina E. K. Achievements and prospects of applying high-throughput sequencing techniques to potato genetics and breeding. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2017;(7):736-743. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079059717070036>

21. Khyutti A. V., Antonova O. Yu., Mironenko N. V., Gavrilenko T. A., Afanasenko O. S. *Ustoychivost' kartofelya k karantinnykh boleznyam*. [Potato resistance to quarantine diseases]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(1):51-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.223>

Сведения об авторах

✉ Тулинов Алексей Геннадьевич, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник отдела сельскохозяйственной геномики, Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: toolalgen@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

Лобанов Александр Юрьевич, младший научный сотрудник отдела сельскохозяйственной геномики, Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1653-2987>

Information about the authors

✉ Aleksei G. Tulinov, PhD in Agricultural Science, researcher, the Department of Agricultural Genomics, Institute of Agrobiotechnology, Federal Research Center, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 27, st. Rucheynaya, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: toolalgen@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

Aleksander Yu. Lobanov, junior researcher, the Department of Agricultural Genomics, Institute of Agrobiotechnology, Federal Research Center, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 27, st. Rucheynaya, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1653-2987>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.293-300>

УДК 664.6: 664.641.14/.12



Хлеб ржано-пшеничный «Знатный»: пищевая ценность

© 2020. Н. К. Лаптева ✉, Л. В. Митькиных

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

С целью расширения ассортимента хлебобулочных изделий для здорового питания в 2019 году разработана документация на хлеб ржано-пшеничный «Знатный» повышенной биологической и пищевой ценности. Содержание пищевых веществ, степень удовлетворения потребности человека в дефицитных веществах и энергетическую ценность продукта рассчитывали на основе сведений, приведенных в справочной литературе. Внесение настоя из смеси семян льна и других масличных семян в тесто при его замесе привело к улучшению реологических свойств последнего и повысило органолептические показатели хлеба. Функциональные свойства хлеба ржано-пшеничного «Знатный» определяются содержанием в нем муки ржаной обдирной, муки пшеничной первого сорта, масла подсолнечного, семян льна, кунжута, ядра семян подсолнечника, которые обогащают изделие многими необходимыми для организма человека макро- и микронутриентами: пищевыми волокнами, минеральными веществами, витаминами, полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК). Хлеб ржано-пшеничный «Знатный», благодаря наличию в рецептуре масличных семян и масла подсолнечного, отличается повышенным содержанием ПНЖК (2,6 г), которые необходимы, прежде всего, для нормального выполнения функций организма человека. Хлеб «Знатный» по содержанию витаминов E, B₁ и B₂ превосходит производственный аналог – хлеб ржано-пшеничный «Здоровье» на 31,8, 13,8 и 11,1 % соответственно; пищевых волокон (7,0 г/100 г) – на 4,5 %. Минеральных веществ (K, Ca, Mg, Fe) в хлебе ржано-пшеничном «Знатный» в сравнении с производственным аналогом содержится больше на 3,9; 63,4; 22,6; 4,0 % соответственно. При употреблении 100 г хлеба ржано-пшеничного «Знатный» удовлетворяется более 23,6 % среднесуточной физиологической потребности человека в полиненасыщенных жирных кислотах; 23,3 % – пищевых волокнах; 16,2 % – магнии; 18,9 % – железе; 29,0 % – витамине E; 22,0 % – витамине B₁.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, мука ржаная, солод ржаной, семена льна, кунжута, масло подсолнечное, пищевая ценность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» Северо-Востока (тема № АААА-А19-119042290135-7).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лаптева Н. К., Митькиных Л. В. Хлеб ржано-пшеничный «Знатный»: пищевая ценность. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):293-300. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.293-300>

Поступила: 07.02.2020

Принята к публикации: 30.04.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Mixed rye-wheat bread «Znatny»: nutritional value

© 2020. Nina K. Lapteva ✉, Lidiya V. Mitkinykh

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

In order to expand the range of bakery products for healthy nutrition, documentation on mixed rye-wheat bread «Znatny» with increased biological and nutritional value was developed in 2019. The content of nutrients, the degree of satisfying human need in deficient substances, and product energy value were calculated on the basis of information provided by reference books. Adding the extract of flax and other oil-bearing seeds into the dough while mixing resulted in improvement of rheological properties of the dough and organoleptic parameters of the bread. Functional characteristics of mixed rye-wheat bread «Znatny» are evaluated according to the content of medium rye flour, light wheat flour, sunflower oil, flax seeds, sesame seeds, and sunseed kernels that enrich the product with a lot of macro- and micronutrients necessary for human body, such as food fibers, mineral substances, vitamins, polyunsaturated fatty acids (PUFA). Due to oil-bearing seeds and sunflower oil on the list of the ingredients mixed rye-wheat bread «Znatny» is characterized by a higher content of PUFA (2.6g), which are necessary, first of all, for proper functioning of the human body. Mixed rye-wheat bread «Znatny» exceeds the production analog mixed rye-wheat bread «Zdorovje» in the content of vitamins E, B₁ and B₂ by 31.8, 13.8 and 11.1 %, respectively.

respectively; in the content of food fibers (7,0 г/100 г) by 4.5%. The content of mineral substances (K, Ca, Mg, Fe) in mixed rye-wheat bread "Znatny" compared to the production analog is higher by 3.9, 63.4, 22.6, 4.0 %, respectively. In 100 g of mixed rye-wheat bread "Znatny" there are 23.6 % of average daily physiological human need in polyunsaturated fatty acids, 23.3% of food fibers, 16.2% of magnesium, 18.9% of Iron, 29% of Vitamin E, 22% of Vitamin B₁

Keywords: bakery products, rye baking flour, rye malt, flax seeds, sesame seeds, sunflower oil, nutrition value

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. AAAA-A19-119042290135-7).

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

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

For citations: Lapteva N. K., Mitkinykh L. V. Mixed rye-wheat bread «Znatny»: nutritional value. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(3):293-300. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.293-300>

Received: 07.02.2020

Accepted for publication: 30.04.2020

Published online: 23.06.2020

По итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации, состоявшегося 26 июля 2017 г., утвержден Паспорт приоритетного проекта «Формирование здорового образа жизни», для реализации которого предусмотрены меры, направленные на расширение здорового питания населения. Это свидетельствует о том, что ключевым звеном государственной социальной политики является сохранение и укрепление здоровья граждан, прежде всего – за счет правильного, здорового питания. К числу основных видов продукции здорового питания относятся обогащенные пищевые продукты [1]. В их число входят и хлебобулочные изделия, обогащенные функциональными ингредиентами.

Расширение ассортимента и повышение качества продукции – важнейшие проблемы хлебопекарной отрасли. В настоящее время повышенным спросом пользуются хлебобулочные изделия профилактического и диетического назначения. Наиболее ценным является использование в рецептурах натуральных добавок, обогащающих хлебные изделия необходимыми для здоровья веществами и благоприятно влияющими на технологию его производства [2].

Технический прогресс освободил человека от тяжелого физического труда, снизил его энергозатраты, что требует меньшего потребления пищевых продуктов для их покрытия, тогда как для нормальной жизнедеятельности человека количество потребляемых нутриентов должно оставаться на прежнем уровне. Одним из путей решения этой проблемы является создание пищевой продукции с повышенной концентрацией необходимых

организму полезных ингредиентов – микро-нутриентов и биологически активных веществ. К ним относятся и продукты питания, содержащие функциональные ингредиенты [3, 4].

Особая значимость хлебобулочных изделий для придания им функциональных свойств определяется тем, что они являются продуктами регулярного и массового употребления.

Перспективным направлением развития ассортимента хлебобулочных изделий повышенной биологической и пищевой ценности является использование натуральных пищевых обогатителей [2, 4, 5, 6]. К ним относятся и продукты переработки зерна ржи: ржаная мука и ржаной солод, что отмечает ряд авторов [2, 7, 8, 9]. Объясняется это тем, что мука ржаная по сравнению с пшеничной отличается более богатым составом макро- и микро-элементов, пищевых волокон, витаминов группы В, витамина Е (α-токоферола) и более сбалансированным аминокислотным составом белковых веществ^{1, 2}.

Из зерна ржи для пищевой отрасли, в том числе хлебопекарной, производится два типа сухого ржаного солода: неферментированный и ферментированный. Ржаной ферментированный солод обладает приятным оригинальным вкусом и ароматом, придает естественный кисло-сладкий вкус продуктам. Он содержит декстрины, редуцирующие сахара, низкомолекулярные белковые вещества и целый ряд ферментов. Пектин и пентозаны, являющиеся растворимыми пищевыми волокнами солода, способствуют снижению содержания холестерина в крови, то есть уменьшают степень риска сердечно-сосудистых заболеваний [8, 10].

¹Скурихин И. М., Тутельян В. А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Справочник. М.: ДеЛи принт, 2007. С. 134-145.

²Пищевая химия. Под ред. А. П. Нечаева. Издание 3-е, испр. СПб.: ГИОРД, 2004. С. 56-57, 259.

Наряду с ржаным и другим зерновым сырьем, к пищевым обогатителям также относятся продукты переработки масличных культур (масло подсолнечное, ядро семян подсолнечника, семена льна, кунжута и др.).

В рационе питания россиян прослеживается дефицит полиненасыщенных жирных кислот, которые необходимы, прежде всего, для нормального выполнения функций организма человека. В решении этой задачи важное значение имеют продукты переработки семян масличных культур с высоким содержанием эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот. К ним относится подсолнечное масло и ядро семян подсолнечника, которые богаты полиненасыщенной жирной линолевой кислотой (в масле 55-75 %) и содержат много токоферола (витамина Е), в том числе наиболее витаминноактивного α -токоферола (в масле – 39 мг%)^{3, 4}.

Семя льна ценится как источник биологически-активных нутриентов: полиненасыщенных жирных кислот (альфа-линоленовая и др.), полноценных по аминокислотному составу белков (с рекордно высоким содержанием треонина и изолейцина), полисахаридов. Льняное семя является богатым источником пищевых волокон, фенольных кислот и флавоноидов, токоферолов, лигнанов, фитина. Большинство углеводов семян льна представляют из себя смесь слизиобразующих высокомолекулярных полисахаридов – гелей, которые оказывают протекторное действие на пищеварительную систему. Образующиеся при увлажнении семян льна слизи богаты минеральными веществами (кальцием, калием, магнием, железом, фосфором, цинком). Гели льняного семени могут также выступать в качестве текстуратора и водоудерживающего агента [11, 12, 13].

Семена кунжута являются ценным источником масла и белка. Содержание жирных кислот в них составляет 45-55 %. Кунжутное

масло отличается высоким содержанием линолевой кислоты, жирорастворимых лигнанов и преобладанием у-токоферола над другими изомерами витамина Е. Высокое содержание линолевой кислоты (21-22 %) и пищевых волокон (11,8 %) в семенах кунжута обеспечивает их способность снижать уровень холестерина в плазме крови [14, 15].

Таким образом, использование выпечечных видов пищевого сырья будет способствовать повышению пищевой ценности хлебобулочных изделий, в составе которых они применяются, а также получить продукты, содержащие функциональные ингредиенты.

Цель исследований – разработать научно-техническую документацию по производству ржано-пшеничного хлеба повышенной биологической и пищевой ценности с улучшенными органолептическими показателями за счет использования ржаного сырья, продуктов переработки семян масличных культур и других видов сырья.

Материал и методы. Исследования проведены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2019 г. В лабораторных исследованиях по отработке технологии производства нового ржано-пшеничного хлеба использовали сырье, соответствующее действующей нормативно-технической документации по физико-химическим и органолептическим показателям. Для разработки и подготовки научно-технической документации использовали нормативные документы^{5, 6}.

Содержание пищевых веществ, степень удовлетворения потребности человека в дефицитных веществах и энергетическую ценность продуктов рассчитывали на основе сведений, приведенных в справочной литературе^{7, 8}. В качестве контрольного варианта использовали близкий по рецептуре, имеющийся в производстве хлеб ржано-пшеничный «Здоровье», вырабатываемый по ГОСТ⁹.

³Скурихин И. М., Тутельян В. А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Справочник. С. 126-127, 152-153.

⁴Пищевая химия. Под ред. А. П. Нечаева. 2004. С. 259-260.

⁵ГОСТ Р 51740-2016. Технические условия на пищевую продукцию. Общие требования к разработке и оформлению. М.: Стандартинформ, 2017. 32 с. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200142432>

⁶ГОСТ 31807-2012. Изделия хлебобулочные из ржаной и смеси ржаной и пшеничной муки. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 18 с. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200100068>

⁷Скурихин И. М., Тутельян В. А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Справочник. 276 с.

⁸Пищевая химия. Под ред. А. П. Нечаева. 640 с.

⁹ГОСТ 31807-2012. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200100068>

Результаты и их обсуждение. С целью пополнения ассортимента хлебобулочных изделий для здорового питания в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2019 г. разработан Стандарт организации по производству хлеба ржано-пшеничного «Знатный» (рис. 1). Хлеб изготавливают с использованием густых хлебных заквасок в количестве, содержащем 25 или 33 % муки (от общего количества муки по рецептуре), в зависимости от технологической схемы и условий производства.



Рис. 1. Хлеб ржано-пшеничный «Знатный» / Fig.1. Mixed rye-wheat bread “Znatny”

При разработке технологии производства хлеба ржано-пшеничного «Знатный» учитывали особенность льняных семян в водных растворах образовывать гели (слизи), которые могут улучшить текстуру и увеличить вододерживающую способность теста, обогатить изделия полисахаридами, белками, витаминами, макро- и микроэлементами, а также

улучшить органолептические и физико-химические показатели хлеба [12].

Настой семян льна и других масличных культур используется взамен части воды, доливаемой при замесе теста. Настой готовится следующим образом: рецептурное количество смеси семян масличных культур (льна, кунжута и ядра семян подсолнечника) заливается частью воды, предназначенной на замес теста, с температурой 80 °С и настаивается 3...4 часа до достижения температуры смеси 32 °С. Настой (вместе с семенами, на основе которых он готовился) вносится на стадии замеса теста. Внесение настоя из смеси семян льна и других масличных семян в тесто при его замесе приводит к улучшению реологических свойств последнего: увеличивается упругость и снижается вязкость теста.

Хлеб ржано-пшеничный «Знатный» вырабатывается из смеси муки ржаной обдирной и пшеничной первого сорта с добавлением солода ржаного ферментированного, масла подсолнечного, масличных семян и другого сырья. Хлеб вырабатывается формовым и подовым штучным. Физико-химические показатели нового сорта хлеба: влажность – 46,0-50,0 % (формового); 45,0-48,0 % (подового); кислотность – не более 10 град.

Органолептической оценкой установлено, что хлеб ржано-пшеничный «Знатный» по сравнению с производственным аналогом – хлебом «Здоровье» имеет более высокие показатели по вкусу, форме, характеру поверхности, цвету, эластичности и пористости мякиша (рис. 2).

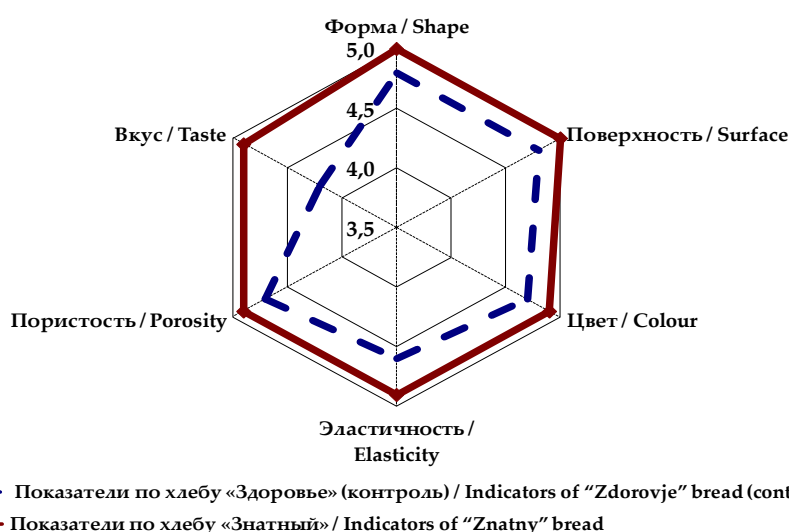


Рис. 2. Профилограмма органолептических показателей хлеба ржано-пшеничного «Знатный» в сравнении с производственным аналогом – хлебом ржано-пшеничным «Здоровье»

Fig. 2. Profile diagram of organoleptic indicators of mixed rye-wheat bread “Znatny” compared to the production analogue – mixed rye-wheat bread “Zdorovje”

Пищевая ценность хлеба «Знатный» определяется содержанием в нем муки ржаной обдирной, солода ржаного ферментированного, масличных семян (ядра семян подсолнечника, семян льна, кунжута) и масла подсолнечного, которые обогащают изделие многими жизненно необходимыми для организма человека пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами (К, Са, Mg, Р, Fe), полиненасыщенной линолевой кислотой.

Ржаная обдирная мука и ржаной ферментированный солод придают хлебу насыщенный вкус и аромат. Обладая более богатым

составом белковых веществ, повышенным содержанием пищевых волокон, минеральных веществ и витаминов, ржаная мука и солод повышают пищевую ценность хлеба.

Хлеб ржано-пшеничный «Знатный», благодаря наличию в рецептуре масличных семян (ядра семян подсолнечника, семян льна, кунжута) и масла подсолнечного, отличается повышенным содержанием полиненасыщенной линолевой кислоты (2,6 г), которая необходима организму человека для обеспечения нормального роста и обмена веществ (табл. 1).

Таблица 1 – Пищевая и энергетическая ценность 100 г хлеба ржано-пшеничного «Знатный» в сравнении с контролем – хлебом ржано-пшеничным «Здоровье» / Table 1 – Nutritional and energy value in 100g of mixed rye-wheat bread “Znatny” compared to the control - mixed rye-wheat bread “Zdorovje”

Пищевые вещества / Nutrients	Хлеб ржано-пшеничный «Здоровье» (контроль) / Mixed rye-wheat bread “Zdorovje” (control)	Хлеб ржано-пшеничный «Знатный» / Mixed rye-wheat bread “Znatny”	
		всего/ total	± к контролю, %/ ± to control, %
Белки, г / Proteins, g	7,7	8,2	+6,5
Жиры, г / Fats, g	3,2	5,7	+78,1
в т. ч. полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая) / including polyun- saturated fatty acids (linoleic)	1,2	2,6	+116,7
Углеводы, г / Carbohydrates, g	47,3	46,6	-1,5
Пищевые волокна, г / Food fibers, g	6,7	7,0	+4,5
Минеральные вещества, мг / Mineral substances, mg:			
калий / potassium	229	238	+3,9
кальций / calcium	41	67	+ 63,4
магний / magnesium	53	65	+22,6
фосфор / phosphorus	143	145	+1,4
железо / iron	2,5	2,6	+ 4,0
Витамины, мг / Vitamins, mg:			
Е	2,2	2,9	+31,8
В ₁	0,29	0,33	+13,8
В ₂	0,09	0,10	+11,1
РР	1,5	1,5	-
Энергетическая ценность, ккал/кДж / Energy value, Kcal/kJ	249/1042	270/1130	+8,4

По содержанию витаминов Е, В₁ и В₂ хлеб «Знатный» превосходит производственный аналог – хлеб ржано-пшеничный «Здоровье» – на 31,8; 13,8 и 11,1 % соответственно, по содержанию пищевых волокон (7,0 г/100 г) – на 4,5 %, минеральных веществ (Са, Mg, Fe) содержится больше соответственно на 63,4; 22,6; 4,0 %.

Введение в рецептуру хлеба обогащающих компонентов (солода ржаного ферментированного, масла подсолнечного и масличных семян) повлияло на повышение энергетической ценности и стоимости сырья для производства хлеба в сравнении с контролем. Энергетическая ценность хлеба ржано- пше-

ничного «Знатный» выше контрольного образца – хлеба «Здоровье» – на 8,4 %.

Хлеб ржано-пшеничный «Знатный» может считаться функциональным¹⁰, так как при употреблении 100 г удовлетворяется более 15 %

суточной физиологической потребности человека, а именно в полиненасыщенных жирных кислотах – 23,6 %; пищевых волокнах – 23,3 %; магнии – 16,2 %; железе – 18,9 %; витамине Е – 29,0 %; витамине В₁ – 22,0 % (табл. 2).

Таблица 2 – Функциональная значимость хлеба ржано-пшеничного «Знатный» в сравнении с хлебом ржано-пшеничным «Здоровье» /

Table 2 – Functional importance of mixed rye-wheat bread “Znatny” compared to mixed rye-wheat bread “Zdorovje”

Пищевые вещества / Food substances	Среднесуточная физиологическая потребность человека по СанПиН ¹¹ / Daily physiological need for human according to SanPiN ¹¹	Степень удовлетворения суточной потребности человека при употреблении 100 г хлеба, % / Degree of satisfying daily need for human using 100 g of bread, %	
		«Здоровье» (контроль) / “Zdorovje” (control)	«Знатный» / “Znatny”
Белки, г / Proteins, g	75	10,3	10,9
Жиры, г / Fats, g	83	3,9	6,9
в т.ч. полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая) / including polyunsaturated fatty acids (linoleic)	11	10,9	23,6
Углеводы, г / Carbohydrates, g	365	13,0	12,8
Пищевые волокна, г / Food fibers, g	30	22,3	23,3
Минеральные вещества, мг / Mineral substances, mg:			
калий / potassium	3500	6,5	6,8
кальций / calcium	1000	4,1	6,7
магний / magnesium	400	13,2	16,2
фосфор / phosphorus	1000	14,3	14,5
железо / iron	14	17,9	18,9
Витамины, мг / Vitamins, mg:			
Е	10	22,0	29,0
В ₁	1,5	19,3	22,0
В ₂	1,8	5,0	5,6

Выводы. Хлеб ржано-пшеничный «Знатный» отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, необходимых организму человека для обеспечения нормального роста и обмена веществ. Он превосходит производственный аналог – хлеб «Здоровье» по содержанию витаминов Е, В₁, В₂,

кальция, магния, железа и пищевых волокон.

Внедрение в производство нового сорта хлеба ржано-пшеничного «Знатный» позволит расширить ассортимент хлебобулочных изделий повышенной биологической и пищевой ценности с содержанием функциональных ингредиентов для здорового питания населения.

¹⁰ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2006. 17 с. (Изм. № 1 от 01.03.2011 г.). Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200039951>

¹¹Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Справочник. С. 20.

Список литературы

1. Дубцов Г. Г. Перспективы производства продуктов для здорового питания. Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018;(9-10):44-50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36414219>
2. Шкотова Т. В., Осташевская Ю. А. Разработка технологии ржано-полбяного слоеного изделия. Вопросы питания. 2016;85(S2):222.
3. Тутельян В. А., Смирнова Е. А. Роль пищевых микроингредиентов в создании современных продуктов питания. Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания. Под. ред. В. А. Тутельяна, А. П. Нечаева. М.: ДеЛи плюс, 2014. С. 10-24.
4. Никитин И. А. Теоретические аспекты технологии эффективной функциональности пищевых продуктов. Усиление конкурентного потенциала пищевых предприятий путем развития эффективных биотехнологий: мат-лы научно-практ. конф. с международным участием. М.: Издательский комплекс «Буки веда», 2016. С. 84-87.
5. Расширение ассортимента хлебопекарной и кондитерской продукции для здорового питания. Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018;(9-10(178)):58-61. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36414222>
6. Jonsson K., Andersson R., Knudsen K. E. B., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K., Kolehmainen M., Kyr C., Langton M., Nordlund E., Laerke H. N., Olsen A., Poutanen K., Tjønneland A., Landberg R. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Trends in Food Science & Technology, Volume. 2018;79:78-87. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018>
7. Кузнецова Л. И. Ржаной хлеб – развитие технологий и ассортимента. Хлебопечение России. 2015;(2):18-19.
8. Лаптева Н. К., Митькиных Л. В. Пищевая и биологическая ценность новых хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(5(66)):69-74. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.69-74>
9. Sterniewska S., Slowik E., Cacak-Pietzak G., Romankiewicz D., Szafrńska A., Dziki D. Prediction of rye flour baking quality based on parameters of swelling curve. European Food Research and Technology. 2018;244: 989-997. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-017-3014-z>
10. Drakos A., Andrioti-Petropoulou L., Evageliou V., Mandala I. Physical and textural properties of biscuits containing jet milled rye and barley flour. Food Sci Technol. 2019;56:367-375. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3497-z>
11. Типсина Н. Н., Матюшев В. В., Бочарова Л. В. Использование льняной муки в производстве пшенично-ржаных сортов хлеба. Вестник КрасГАУ. 2018;(4):169-174. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35423868>
12. Бойцова Т. М., Назарова О. М. Настой семени льна в технологии производства ржано-пшеничного хлеба. Хлебопечение России. 2015;(3):24-26.
13. Карасева Е. Н. Применение семян льна при производстве хлеба. Усиление конкурентного потенциала пищевых предприятий путем развития эффективных биотехнологий: сб. мат-лов научно-практ. конф. с международным участием. М.: Издательский комплекс «Буки веда», 2016. С. 54-56.
14. Мартинчик А. Н. Пищевая ценность семян кунжута. Вопросы питания. 2011;80(3):41-43.
15. Наумова Н. Л., Бурмистрова О. М., Бурмистров Е. А., Савостина Т. В., Черниязова Э. А. Применение кунжутной муки в рецептуре хлеба «Славянский». Дальневосточный аграрный вестник. 2018;(3(47)):95-102. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-13063>

References

1. Dubtsov G. G. *Perspektivy proizvodstva produktov dlya zdorovogo pitaniya*. [Prospects for the production of healthy nutrition products]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo*. 2018;(9-10):44-50. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36414219>
2. Shkotova T. V., Ostashevskaya Yu. A. *Razrabotka tekhnologii rzhano-polbyanogo sloenogo izdeliya*. [Development of technology for rye-spelt puff products]. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2016;85(S2):222. (In Russ.).
3. Tutel'yana V. A., Smirnova E. A. *Rol' pishchevykh mikroingredientov v sozdanii sovremennykh produktov pitaniya. Pishchevye ingredienty v sozdanii sovremennykh produktov pitaniya*. [The role of food micro-ingredients in the creation of modern food products. Food ingredients in the creation of modern food]. *Pod. red. V. A. Tutel'yana, A. P. Nechaeva*. Moscow: *DeLi plus*, 2014. pp. 10-24.
4. Nikitin I. A. *Teoreticheskie aspekty tekhnologii effektivnoy funktsional'nosti pishchevykh produktov*. [Theoretical aspects of the technology of foodstuff effective functionality]. *Usilenie konkurentnogo potentsiala pishchevykh predpriyatiy putem razvitiya effektivnykh biotekhnologiy: mat-ly nauchno-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. [Strengthening the competitive potential of food enterprises through the development

of effective biotechnologies: Proceedings of scientific and practical Conference with international participation]. Moscow: Izdatel'skiy kompleks «Buki vedi», 2016. pp.84-87.

5. *Rasshirenie assortimenta khlebopekarnoy i konditerskoy produktsii dlya zdorovogo pitaniya*. [Expanding the range of bakery and confectionery products for a healthy diet]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo*. 2018;(9-10(178)):58-61. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36414222>

6. Jonsson K., Andersson R., Knudsen K. E. B., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K., Kolehmainen M., Kyr C., Langton M., Nordlund E., Laerke H. N., Olsen A., Poutanen K., Tjønneland A., Landberg R. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Trends in Food Science & Technology, Volume. 2018;79:78-87. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018>

7. Kuznetsova L. I. *Rzhanoy khleb – razvitie tekhnologiy i assortimenta*. [Rye Bread - Development of Technologies and Range]. *Khlebopechenie Rossii* = Baking in Russia. 2015;(2):18-19. (In Russ.).

8. Lapteva N. K., Mit'kinykh L. V. *Pishchevaya i biologicheskaya tsennost' novykh khlebobulochnykh i muchnykh konditerskikh izdeliy*. [Nutritional and biological value of new bakery and flour confectionery products]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(5(66)):69-74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.69-74>

9. Sterniewska S., Slowik E., Cacak-Pietzak G., Romankiewicz D., Szafranska A., Dziki D. Prediction of rye flour baking quality based on parameters of swelling curve. *European Food Research and Technology*. 2018;244: 989-997. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-017-3014-z>

10. Drakos A., Andrioti-Petropoulou L., Evageliou V., Mandala I. Physical and textural properties of biscuits containing jet milled rye and barley flour. *Food Sci Technol*. 2019;56:367-375. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3497-z>

11. Tipsina N. N., Matyushev V. V., Bocharova L. V. *Ispol'zovanie l'nyanoy muki v proizvodstve pshenichno-rzhanykh sortov khleba*. [Using flax flour in the production of wheat and rye sorts of bread]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2018;(4):169-174. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35423868>

12. Boytsova T. M., Nazarova O. M. *Nastoy semeni l'na v tekhnologii proizvodstva rzhano-pshenichnogo khleba*. [Infusion of Flax Seed in the Production Technology of Rye-Wheat Bread]. *Khlebopechenie Rossii* = Baking in Russia. 2015;(3):24-26. (In Russ.).

13. Karaseva E. N. *Primenenie semyan l'na pri proizvodstve khleba*. [The use of flax seeds in the production of bread]. *Usilenie konkurentnogo potentsiala pishchevykh predpriyatiy putem razvitiya effektivnykh biotekhnologiy: sb. mat-lov nauchno-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. [Strengthening the competitive potential of food enterprises through the development of effective biotechnology: Collection of materials of scientific and practical Conference with international participation]. Moscow: Izdatel'skiy kompleks «Buki vedi», 2016. pp. 54-56.

14. Martinchik A. N. *Pishchevaya tsennost' semyan kunzhuta*. [Nutritional value of sesame seeds]. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 2011;80(3):41-43. (In Russ.).

15. Naumova N. L., Burmistrova O. M., Burmistrov E. A., Savostina T. V., Cherniyazova E. A. *Primenenie kunzhutnoy muki v retsepture khleba «Slavyanskiy»*. [Application of sesame flour in the recipe of «Slavyansky»]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2018;(3(47)):95-102. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-13063>

Сведения об авторах

✉ **Лаптева Нина Кузьминична**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории озимой ржи, ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8015-9342>

Митькиных Лидия Викторовна, инженер-технолог, младший научный сотрудник лаборатории озимой ржи, 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/0000-0002-9960-4490>

Information about authors

✉ **Nina K. Lapteva**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of winter rye, Federal Agricultural Scientific Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin St., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8015-9342>

Lidiya V. Mitkinykh, process engineer, research assistant, the Laboratory of winter rye, Federal Agricultural Scientific Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin St., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9960-4490>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312>

УДК 633.1: 631.331

**Гребнистый способ посева зерновых культур
на осушаемых землях**

© 2020. Ю. И. Митрофанов, О. Н. Анциферова ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», Тверская область, п. Эммаусс, Российская Федерация

Исследования проводили в 1991-1994 и 2012-2019 гг. в условиях Тверской области. Изучали эффективность двух модификаций гребнистого ленточно-разбросного способа посева зерновых культур. Почвы опытного участка дерново-подзолистые хорошо окультуренные легкосуглинистые и супесчаные глееватые, осушаемые закрытым дренажом. Выявлено, что в условиях северо-западной части Нечерноземной зоны зерновые культуры (озимая рожь, озимая тритикале, ячмень, овес, полба) на осушаемых землях целесообразно выращивать на гребнях высотой 40-80 мм с использованием улучшенного гребнистого ленточно-разбросного способа посева, обеспечивающего выравнивание поверхности почвы, создание уплотненного ложа и хороший контакт семян с почвой путем их вдавливания. При гребнистом ленточно-разбросном способе посева зерновых культур отмечено повышение полевой всхожести семян на 10,3 % в среднем по всем культурам, выживаемости растений – на 5,8 %, сохранности растений озимой ржи при перезимовке – на 12,5-19,0 %, усиление фотосинтетической деятельности растений, улучшение структуры и повышение урожая на 0,21-1,19 т/га. Прирост урожая был получен как за счет увеличения количества продуктивных стеблей на 17,8 % (в среднем по культурам), так и за счет более высокой массы зерна в колосе (метелке) – на 10,0 %. Наиболее значительное увеличение количества продуктивных стеблей при гребнистом посеве было у полбы и озимой тритикале (на 26,0-83,1 %), числа зерен – у овса и озимой ржи (на 4,7-17,9 %), массы 1000 зерен – у ячменя, массы зерна в колосе (метелке) – у овса (на 17,0-24,0 %) и озимой ржи (на 8,0-10,1 %). Преимущество гребнистого ленточно-разбросного способа посева формируется за счет оптимизации площади питания растений и улучшения агрофизических условий в посевном слое почвы.

Ключевые слова: полевая всхожесть, сохранность, выживаемость, структура урожая, урожайность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель» (№ 0651-2019-0006).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Митрофанов Ю. И., Анциферова О. Н. Гребнистый способ посева зерновых культур на осушаемых землях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):301-312.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312>

Поступила: 18.03.2020

Принята к публикации: 23.04.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Ridge method of sowing crops on drained lands

© 2020. Yuri. I. Mitrofanov, Olga N. Antsiferova ✉

All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver Region, Emmaus Village, Russian Federation

The research was carried out in 1991-1994 and in 2012-2019 in the conditions of the Tver region. The effectiveness of two variants of ridge band-broadcast method of sowing grain crops was studied. The soils of the experimental plot were soddy-podzolic, well cultivated, light loamy and loamy sand gleyic drained by closed drainage. It has been established, that in the conditions of the northwestern part of the Non-chernozem zone on drained lands, grain crops (winter rye, winter triticale, barley, oats, spelt) should be grown on ridges 40-80 mm high using an improved ridge band-broadcast method of sowing that ensures smoothing of the soil surface, creation of a compacted bed and good contact of seeds with the soil by pressing them. By ridge band-broadcast method of grain crop sowing, an average 10.3 % increase in field germination of seeds was noted for all crops, plant survival – by 5.8 %, viability of winter rye plants during wintering – by 12.5-19.0 %, enhancing photosynthetic activity of plants, improving the structure and increasing the yield – by 0.21-1.19 t / ha. The yield increase was obtained both due to an increase in the number of productive stems by 17.8 % (on average in crops), and due to a higher grain mass in the ear (panicle) – by 10.0 %. The most significant increase in the number of productive stems during ridge sowing was observed in spelt and winter triticale (by 26.0-83.1 %), in the number of grains – in oats and winter rye (by 4.7-17.9 %), in the weight of 1000 grains – in barley, in grain mass in an ear (panicle) – in oats (17.0-24.0 %) and winter rye (8.0-10.1 %).

The advantage of the ridge band-broadcast method of sowing is due to optimizing the area of plant nutrition and improving the agrophysical conditions in the seed layer of the soil.

Keywords: field germination, viability, survival, crop structure, productivity

Acknowledgments: the research was carried out within the state assignment of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (No. 0651-2019-0006).

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

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

For citation: Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N. The ridge method of sowing crops on drained lands. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):301-312. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312>

Received: 18.03.2020

Accepted for publication: 23.04.2020

Published online: 23.06.2020

В земледелии способы посева являются важнейшими технологическими приемами, позволяющими путем создания необходимых условий для прорастания семян, оптимизации ширины междурядий и расстояния между растениями в рядке создавать благоприятные условия для реализации основных принципов построения культурного агрофитоценоза: равномерность размещения семян в пространстве, исключение ценотического взаимодействия растений на ранних этапах развития и снижение активности конкурентной борьбы между растениями в посеве [1].

Технология посева в значительной степени предопределяет начальную густоту стояния растений и дальнейшую динамику продукционного процесса – интенсивность кущения растений, уровень сохранности растений и стеблей, параметры основных элементов продуктивности (количество продуктивных стеблей на 1 м², число зерен в колосе (метелке), масса 1000 зерен) [1, 2, 3]. Густота всходов формируется под влиянием расчетной нормы высева и полевой всхожести семян, которая, как правило, существенно меньше лабораторной. Снижение всхожести семян в полевых условиях связано с воздействием на посевной слой почвы большого количества нерегулируемых и плохо прогнозируемых факторов (почвенные и погодные условия, недостаточная и избыточная обеспеченность влагой, воздухом, теплом и т. д.), с технологическим несовершенством применяемых способов посева, плохим качеством подготовки почвы и высеваемых семян, нарушением сроков сева, глубины заделки семян и т. д. [4, 5, 6].

В Нечерноземной зоне основным способом посева зерновых культур является обычный рядовой посев сеялками с двухдисковыми сошниками и шириной междурядий 15 см [7, 8]. Анализ работы сошников различных типов, их положительных качеств и недостатков показывает, что дисковый сошник в силу конструктивных особенностей не может фор-

мировать плотное семенное ложе, а также обеспечить равномерную по глубине заделку семян и гарантировать их высокую полевую всхожесть [1]. Поэтому, в среднем, практически третья часть высеянных семян не участвует в формировании урожая. К достоинствам двухдисковых сошников относят то, что они более устойчиво, по сравнению с другими сошниками, работают на почвах, богатых растительными остатками и плохо разделанных при предпосевной подготовке почвы.

Наши исследования по совершенствованию технологий возделывания зерновых культур были направлены на создание способов их посева, обеспечивающих более устойчивое функционирование посевов зерновых культур в условиях повышенного увлажнения. Первоначально была разработана упрощенная технологическая схема гребнистого ленточно-разбросного способа посева, которая предусматривала рассев семян лентой на поверхность почвы и заделку их путем нагребания на них почвы с формированием гребней. Посев проводится переоборудованной для этих целей зерновой сеялкой СЗ-3,6 (СЗГ-3,6). Недостатком этого варианта являлось то, что при посеве не создавалось уплотненное семенное ложе и не обеспечивался хороший контакт семян с почвой. Для устранения этого недостатка технологическая схема была усовершенствована – на сеялку были установлены катки (ширина 10 см), обеспечивающие локальное уплотнение почвы в зоне расположения семян и их вдавливание в почву. Посев осуществляется гребне-катковой сеялкой СЗГК-3,6 [8]. Исследования показали, что гребнистый ленточно-разбросной способ посева обладает, по сравнению с обычным рядовым, более высокой технологичностью и адаптивностью к погодным и почвенно-мелиоративным условиям осушаемых земель, обеспечивает более надежную защиту растений от негативных последствий, связанных с повышенным увлажнением почвы.

Свою эффективность в условиях Нечерноземной зоны гребнистый ленточно-разбросной способ посева показал, прежде всего, на озимой ржи, посевы которой в этом регионе часто страдают от нарушения водно-воздушного режима почвы, образования ледяной корки в периоды зимних оттепелей, от истощения и выпревания растений, застоя воды и вымокания, а также других неблагоприятных факторов [9, 10]. Как показали исследования, размещение растений на гребнистой поверхности позволяет существенно улучшить водно-воздушный режим в зоне расположения семян и узла кущения растений, условия для развития растений в осенний период, повысить устойчивость посевов против переувлажнения почвы, вымокания, ледяной корки, сохранность растений при перезимовке, увеличить количество продуктивных стеблей на единице площади, массу зерна колоса и урожайность. Прирост урожая обеспечивается как за счет улучшения площади питания растений, так и за счет улучшения агрофизических условий в посевном слое почвы. В настоящее время результаты исследований по озимой ржи широко опубликованы в мировой научной литературе [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

При использовании СЗГК-3,6 для посева яровых зерновых культур, в целом, были также получены положительные результаты. Одновременно было установлено, что в отдельные засушливые годы, при недостаточном увлажнении верхней части посевного слоя, семена при рассеве на поверхность могут ложиться на пересохшую почву, следствием чего может быть задержка появления всходов, снижение полевой всхожести семян и количества растений на единице площади. Для устранения этого недостатка на сеялке были установлены специальные устройства, позволяющие выравнивать поверхность и освобождать семенное ложе от сухой почвы перед рассевом семян до уплотнения почвы.

Цель исследований – изучить эффективность гребнистого ленточно-разбросного способа посева зерновых культур на осушаемых землях с использованием различных модификаций сеялок.

Материал и методы. Исследования проводили в 1991-1994 и 2012-2019 гг. на экспериментальном участке Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (Тверская область, мелио-

ративный объект «Губино»), осушаемом закрытым дренажом (междреннее расстояние 20-30 м, глубина заложения дрен 0,9-1,2 м). Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая, слабокислая, содержание подвижного фосфора высокое, обменного калия – повышенное, гумуса – 1,80-2,70 %. Изучали 3 способа посева: 1) рядовой – СЗ-3,6 – контроль; 2) гребнистый ленточно-разбросной – СЗГК-3,6; 3) улучшенный гребнистый ленточно-разбросной – СЗГК-3,6У. В улучшенном варианте сеялки перед катками установлены устройства, выравнивающие поверхность почвы. Технологическая схема гребнистого улучшенного ленточно-разбросного способа посева предусматривает выравнивание поверхности почвы в зоне расположения семян, рассев семян лентами на выровненную поверхность поля, вдавливание семян в почву катками и закрытие их загортачами. Растения размещаются на гребнях высотой 40-80 мм лентами шириной 13-15 см [8].

В 1991-1994 гг. озимая рожь, ячмень и овес выращивали по интенсивным технологиям с внесением минеральных удобрений под запланированный урожай. Возделывали сорта: озимой ржи – Орловская 9, ячменя – Абава, овса – Санг. Способы посева сравнивали на фоне двух вариантов предпосевной обработки почвы: 1) культивация на глубину 4-6 см в 2 следа, 2) культивация + обработка комбинированным агрегатом РВК-3,6.

В 2012-2019 гг. культуры выращивали по нормальным среднеинтенсивным технологиям. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию – N50P50K50. Возделывали сорта: озимой ржи – Дымка, овса – Аргамак, озимой тритикале – Немчинский 56, полбы – Руно. Предпосевная обработка почвы состояла из культивации на глубину 4-6 см и обработки комбинированным агрегатом КБМ-4,2. Способы посева сравнивали на одном фоне предпосевной обработки почвы. Предшественниками озимых зерновых культур были клевер 1 г. п. и рапс яровой на сидерат, яровых зерновых – картофель, озимая рожь, клевер 1 г. п. Повторность опытов 3-4-кратная. Общая площадь делянок 200-280 м², учетная – 40-80 м².

Сопутствующие исследования, анализы и наблюдения в полевых опытах проводили по общепринятым в растениеводческой науке методикам опытного дела^{1, 2}.

¹Майсурия Н.А. Практикум по растениеводству. М.: Колос, 1970. 446 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Метеоусловия в годы исследований в период вегетации были разными – от благоприятных до неблагоприятных, прежде всего, по условиям увлажнения. ГТК по Селянинову за вегетацию по годам изменялся от 2,50 (2012 г.) до 0,92 (1992 г.), в т. ч. в мае (время сева яровых зерновых культур) от 0,64 до 3,12 и в августе (время сева озимых культур) от 0,44 до 2,0. Погодные условия в период проведения посевных работ характеризовались в интервале от острозасушливых до избыточно влажных. Количество выпавших в мае осадков (% от нормы) по годам изменялось от 42,0 (1993 г.) до 172 % (2015 г.), в августе – от 37,0 (2018 г.) до 216 % (2019 г.).

Уборку урожая зерновых культур проводили комбайном «Сампо». Достоверность приростов урожая определяли методом дисперсионного анализа³.

Результаты и их обсуждение. При оценке способов посева в качестве основных технологических критериев, характеризующих качество посева ржи, определяли полноту и глубину заделки семян, полевую всхожесть семян и другие. Обобщение результатов ранее проведенных опытов показало, что в условиях повышенного увлажнения растения, прежде всего, отрицательно реагируют на излишне глубокую заделку семян в почву. При глубокой заделке семян образуются длинные подсеменные колена, непродуктивно расходуются пластические вещества, задерживается появление всходов и начало кущения, возрастает опасность поражения болезнями, у озимых культур ухудшается сохранность растений при перезимовке. Каждый дополнительный сантиметр подсеменного колена сверх оптимального приводит к потере до одного и более центнеров зерна урожая. Для озимой ржи оптимальная глубина заделки семян составляет 2-3 см. Установлено, что при повышенном увлажнении узел кущения у зерновых культур закладывается в почве неглубоко. У озимой ржи, по данным наших опытов, при глубине заделки семян 2-4 см средняя глубина залегания узла кущения составила 1,25 см, а при глубине 4-6 см – 1,65 см. Узел кущения очень чувствителен к условиям аэрации. Переувлажнение почвы в зоне расположения узла кущения снижает интенсивность кущения, ослабляет закалку растений и их устойчивость к неблагоприятным факторам.

Исследования по глубине и равномерности заделки семян ячменя показали, что наиболее высокая полевая всхожесть семян этой

культуры наблюдалась в варианте, где семена заделывали на глубину 2-4 см. Излишне мелкая заделка семян (0-2 см) снижала полевую всхожесть по отношению к оптимальной глубине на 20,1 %, а более глубокая (4-6 см) – на 11,3 % (НСР₀₅ 4,6 %).

Профилирование поверхности существенно улучшает агрофизическое состояние посевного слоя почвы. В опытах с озимой рожью в вариантах с гребнистой поверхностью почва в посевном слое (0-5 см) в течение всего вегетационного периода, по сравнению с контролем (ровная поверхность), имела более рыхлое сложение. Объемная масса в осенний период была меньше на 0,04-0,11 г/см³, весной (в начале возобновления вегетации) – на 0,05-0,10 и перед уборкой – на 0,04 г/см³ (НСР₀₅ 0,02-0,04 г/см³). При этом влажность почвы в фазу всходов и кущения осенью в этих вариантах была ниже, чем в контроле, на 3,4-3,5 % (НСР₀₅ 2,3 %). Гребнистая поверхность обеспечивает более устойчивый режим аэрации почвы в зоне расположения узла кущения – пористость устойчивой аэрации (расчетная величина) в посевном слое (0-5 см) на гребнях в течение всего вегетационного периода выше на 27,7-71,1 %. При гребнистом посеве узел кущения всегда размещается выше основания гребня, что исключает застой воды в зоне его расположения и создает повышенную защищенность растений от переувлажнения. Улучшение агрофизических условий в зоне расположения узла кущения под влиянием гребнистой поверхности оказывает благоприятное влияние на рост, развитие и процесс кущения растений.

При гребнистом посеве семена зерновых культур заделывались в почву на оптимальную глубину, более равномерно и несколько мельче, чем при рядовом. При посеве зерновой дисковой сеялкой (СЗ-3,6) глубина заделки семян в опытах по культурам колебалась от 2,7 (рожь) до 5,2 см (овес), при гребнистом посеве – от 2,0 (рожь) до 3,7 см (овес, тритикале) (табл. 1). В среднем по всем культурам глубина заделки семян при обычном рядовом посеве составила 4,0 см, при гребнистом – 3,0 см. При гребнистом посеве, под влиянием катков и выравнивающих устройств, глубина заделки семян несколько увеличивалась. Предпосевное уплотнение почвы на глубину заделки семян, наоборот, уменьшалось. Излишне глубокая заделка семян в почву в опытах наблюдалась только при посеве дисковой сеялкой без предпосевного уплотнения почвы.

³Там же

Таблица 1 – Влияние гребнистого ленточно-разбросного способа посева на технологические и биометрические показатели посевов зерновых культур /
Table 1 – The effect of ridge band-broadcast method of sowing on technological and biometric indicators of grain crops

Показатель / Indicator	Культура / Crop		Способ посева, марка сеялки / Sowing method, seeder brand		К конт- ролю, ± / To control, ±
			рядовой – СЗ-3,6 – контроль / in rows – SZ-3.6 – control	гребнистый ленточно- разбросной – СЗГК-3,6 / ridge band-broadcast – SZGK-3.6	
Глубина заделки семян, см / Seeding depth, cm	Озимая рожь / Winter rye	1	2,7	2,0	-0,7
		2	3,5	2,9	-0,6
	Озимая тритикале / Winter triticale		3,4	3,7	+0,3
	Овес / Oats	1	4,5	2,7	-1,8
		2	5,2	3,7*	-1,5
	Ячмень / Barley		4,1	2,9	-1,2
	Полба / Spelt		4,6	3,1*	-1,5
	Среднее по культурам / Average in crops		4,0	3,0	-1,0
Полевая всхожесть семян, % / Field germination of seeds, %	Озимая рожь / Winter rye	1	53,9	55,4	+1,5
		2	77,3	88,7*	+11,4
	Озимая тритикале / Winter triticale		74,0	89,0	+15,0
	Овес / Oats	1	78,0	80,9	+2,9
		2	65,0	88,0*	+23,0
	Ячмень / Barley		67,3	67,7	+0,4
	Полба / Spelt		57,0	75,0*	+18,0
	Среднее по культурам / Average in crops		67,5	77,8	+10,3
Сохранность растений, % / Viability of plants, %	Озимая рожь / Winter rye	1	75,3	81,3	+6,0
		2	74,0	74,9*	+0,9
	Озимая тритикале / Winter triticale		56,3	55,1	-1,2
	Овес / Oats	1	84,7	70,3	-14,4
		2	77,1	66,3*	-10,8
	Ячмень / Barley		63,8	61,9	-1,9
	Полба / Spelt		76,0	81,3*	+5,3
	Среднее по культурам / Average in crops		72,5	70,2	-2,3
Выживаемость растений, % / Plant survival, %	Озимая рожь / Winter rye	1	40,5	45,8	+5,3
		2	56,8	66,5*	+9,7
	Озимая тритикале / Winter triticale		42,0	49,6	+7,6
	Овес / Oats	1	64,7	56,8	-7,9
		2	49,3	58,3*	+9,0
	Ячмень / Barley		43,0	41,9	-1,1
	Полба / Spelt		43,3	61,0*	+17,7
	Среднее по культурам / Average in crops		48,5	54,3	+5,8

Примечания: * посев – СЗГК-3,6У; годы проведения опытов: озимая рожь: 1 – 1991-1993, 2 – 2016-2018; озимая тритикале – 2015-2018; овес: 1 – 1991-1993, 2 – 2015-2018; ячмень – 1991-1994; полба – 2017-2019; 1991-1994 – среднее по 2-м вариантам предпосевной обработки почвы /

Note: * sowing – SZGK-3.6U; years of experiment: winter rye: 1 – 1991-1993, 2 – 2016-2018; winter triticale – 2015-2018; oats: 1 – 1991-1993, 2 – 2015-2018; barley – 1991-1994; spelt – 2017-2019; 1991-1994 – the average in 2 variants of pre-sowing tillage

Полевая всхожесть семян на всех культурах при гребнистом посеве была выше, особенно с улучшенным вариантом. В среднем по культурам и опытам полевая всхожесть семян при гребнистом способе посева составила 77,8 % и была на 10,3 абс.% больше, чем при рядовом. В улучшенном варианте гребнистого посева (с выравнивающими устройствами) полевая всхожесть семян, в среднем по годам, составила: у овса – 88,0 %, ржи – 88,7, тритикале – 89,0 %. Наиболее значительное

увеличение полевой всхожести семян при гребнистом посеве получено у озимой тритикале, полбы и овса – на 15,0-23,0 %.

Всходы при гребнистом посеве, прежде всего в улучшенном варианте, появлялись дружнее и на 2-4 дня раньше. Динамика появления всходов овса показана на рисунке 1. Положительное влияние на полевую всхожесть семян оказывало выравнивание посевного ложа, а также уплотнение его катками с одновременным вдавливанием семян в почву.

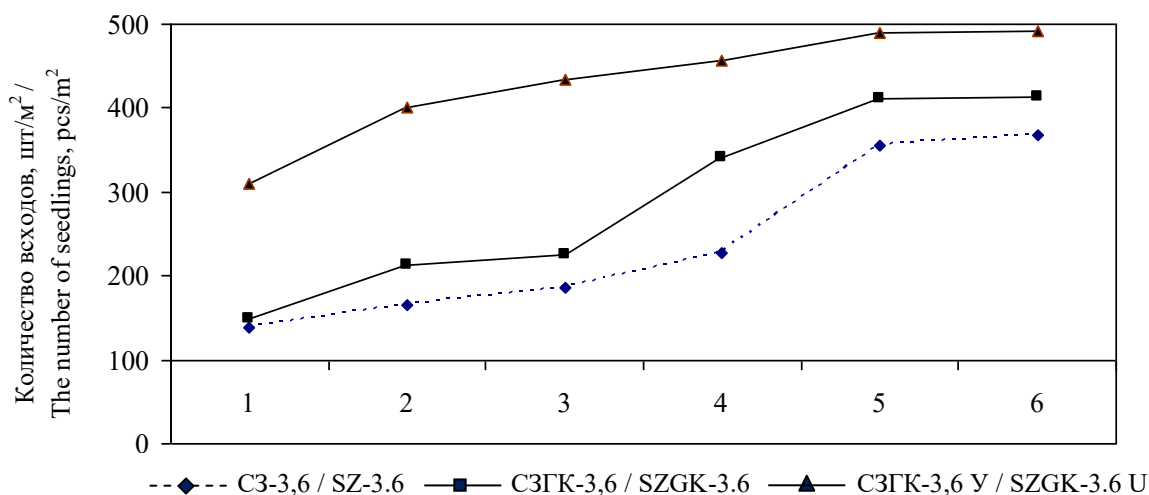


Рис. 1. Динамика появления всходов овса при разных способах посева (среднее за 2015-2018 гг.) (первый учет всходов овса осуществляли на 10-й день после посева, последующие – с интервалом 2...5 суток) /

Fig. 1. The dynamics of emergence of oat seedlings by different methods of sowing (the average for 2015-2018) (the first record of oat seedlings was carried out on the 10th day after sowing, the following – with an interval of 2...5 days)

При уплотнении посевного ложа с вдавливанием семян овса в почву полевая всхожесть их увеличивалась на 10,3 %, по сравнению с обычным рядовым посевом, за счет выравнивающих устройств – на 12,7 % (НСР₀₅ 4,8 %). В целом полевая всхожесть овса при улучшенном гребнистом посеве, по сравнению с рядовым, увеличилась – на 23,0 %, у полбы – на 18 абс.%. Выравнивающее устройство (при среднем давлении катков) увеличило глубину заделки семян полбы с 1,6 до 3,1 см, полевую всхожесть семян – с 66 до 75 %, глубину заложения узла кущения – с 1,2 до 2,0 см.

Сохранность и выживаемость растений. При гребнистом способе посева сохранность растений, в среднем по культурам, была ниже, чем при рядовом; выживаемость, наоборот, выше. Связано это с тем, что на сохранность растений большое влияние оказали показатели полевой всхожести семян, начальной густоты стояния растений и плотности стеблестоя. В более плотных посевах сохранность растений, как правило, снижается, в бо-

лее разреженных – повышается. При гребнистом посеве густота всходов была существенно выше. Высокая выживаемость растений при гребнистом посеве сформировались за счет большей полевой всхожести семян. В среднем по всем культурам выживаемость растений увеличилась на 5,8 абс.%. Наиболее значительные положительные изменения в биометрических параметрах под влиянием улучшенного гребнистого способа посева наблюдались в посевах полбы. По сравнению с рядовым способом посева сохранность растений у полбы увеличилась на 5,3 % (НСР₀₅ 4,2 %), выживаемость – на 17,7 абс.% (НСР₀₅ 5,2 %).

Осеннее развитие озимых зерновых культур и сохранность растений при перезимовке. Более равномерное распределение растений по площади питания и создание за счет гребнистой поверхности благоприятных агрофизических условий в зоне расположения узла кущения оказывает положительное влияние на рост, развитие растений и процесс кущения ржи. Осенью, перед уходом растений

в зиму, коэффициент кущения у ржи, по сравнению с обычным рядовым способом посева, был больше на 8,5-21,5 %, количество стеблей – на 18,8-22,7 %, биомасса одного растения – на 11,7-25,0 %. Сохранность растений ржи при перезимовке в варианте с гребнистым посевом увеличивалась на 12,5-19,1 %. В разных опытах процент сохранившихся после перезимовки растений при гребнистом способе посева составлял 83,0-92,7 %, в отдельные годы гибель растений практически отсутствовала. Положительное влияние профилированной поверхности на сохранность растений было особенно заметно в неблагоприятные по условиям перезимовки годы. У озимой тритикале процент перезимовавших растений в варианте с гребнистым посевом был больше только

на 2,6 % (НСР₀₅ 3,0 %). Вместе с тем, с учетом различий начальной густоты всходов, количество растений на 1 м² после перезимовки в варианте с гребнистым посевом было на 67,0 шт., или 25,0 % больше, чем при обычном рядовом посеве, прежде всего, за счет более высокой начальной густоты стояния растений.

Урожайность. У всех изучаемых культур при гребнистом способе посева урожайность, по сравнению с обычным рядовым, была выше, особенно в опытах с его улучшенным вариантом. Прибавки урожая по культурам и отдельным опытам колебались от 0,21 до 1,19 т/га (от 6,3 до 68,0 %). Наиболее значительное увеличение урожайности было получено у озимой тритикале, озимой ржи и полбы (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние гребнистого ленточно-разбросного способа посева на урожайность зерновых культур, т/га /

Table 2 – The effect of ridge band-broadcast method of sowing on the yield of grain crops, t/ha

Культура / Crop	Годы проведения опытов / Years of exper- iments	Способ посева, марка сеялки / Sowing method, seeder brand		К контролю / To control		НСР ₀₅ , т/га / LSD ₀₅ , t/ha
		рядовой – СЗ-3,6 – контроль / in rows – SZ-3.6 – control	гребнистый ленточно- разбросной – СЗГК-3,6 / the ridge band-broadcast – SZGK-3.6	±	%	
Озимая рожь / Winter rye	1991-1993	5,00	5,75	+0,75	115,2	0,32
	2012-2014	3,60	4,15	+0,55	115,3	0,28
	2016-2018	3,32	4,45*	+1,13	134,0	0,34
Озимая тритикале / Winter triticale	2014-2016	4,46	5,45	+0,99	122,1	0,22
Овес / Oats	1991-1993	3,53	3,74	+0,21	106,3	0,20
	2015-2018	2,75	3,48*	+0,73	126,5	0,28
Ячмень / Barley	1991-1994	3,54	3,89	+0,35	110,2	0,22
Полба / Spelt	2017-2019	1,75	2,94*	+1,19	168,0	0,24

Примечания: * посев проведен СЗГК-3,6У; 1991-1994 гг. – среднее по 2-м вариантам предпосевной обработки почвы / Note: * Sowing was carried out by SZGK-3.6U; 1991-1994 – the average in 2 variants of pre-sowing tillage.

Улучшенный вариант гребнистого способа посева по урожайности существенно превосходил и обычный гребнистый способ (без выравнивающих устройств). Особенно заметно это проявилось на озимой ржи, овсе и полбе. Прибавки урожая, по сравнению с обычным гребнистым способом посева (без выравнивающих устройств), составили соответственно 0,62 т/га (116,2 %), 0,44 (114,5 %), 0,74 т/га (133,6 %). Лучшие результаты при усовершенствованном гребнистом способе посева были получены при среднем и максимальном режимах давления катков на почву. Наибольшие приросты урожая от выравнивающего устройства были получены в годы

с засушливыми посевными периодами; наименьшие – с избыточно влажными условиями.

Структура урожая. Все основные структурные элементы продуктивности посевов зерновых культур представлены в таблице 3. В среднем по всем культурам при гребнистом способе посева количество продуктивных стеблей, по сравнению с контролем, увеличилось на 17,8 %, масса зерна с колоса (метелки) – на 10,0 %. Наиболее значительное увеличение количества продуктивных стеблей при гребнистом посеве было у озимой тритикале и полбы (на 26,0-83,1 %), числа зерен – у овса и озимой ржи (на 4,7-17,9 %), массы 1000 зерен – у ячменя, массы зерна с колоса (метелки) – у овса (на 17,0-24,0 %) и озимой ржи (на 8,0-10,1 %).

Таблица 3 – Влияние гребнистого ленточно-разбросного способа посева на структуру урожая зерновых культур /
 Table 3 – The effect of ridge band-broadcast method of sowing on the structure of the crop yield

Показатель / Indicator	Культура / Crop		Способ посева, марка сеялки / Sowing method, seeder brand		К контролю / To control	
			рядовой – СЗ-3,6 – контроль / in rows – SZ-3.6 – control	гребнистый ленточно- разбросной – СЗГК-3,6 / the ridge band-broadcast – SZGK-3.6	±	%
Количество продуктивных стеблей, шт/м ² / The number of productive stems, pcs/m ²	Озимая рожь / Winter rye	1	440	519	+79	117,9
		2	365	385	+20	105,5
	Озимая тритикале / Winter triticale		384	484	+100	126,0
	Овес / Oats	1	386	345	-41	89,4
		2	290	320*	+30	110,7
	Ячмень / Barley		515	553	+38	107,4
	Полба / Spelt		296	542*	+246	183,1
Количество зерен в колосе (метелке), шт. / The number of grains in the ear (panicle), pcs	Озимая рожь / Winter rye	1	61,3	66,5	+5,2	108,5
		2	53,5	56,0	+2,5	104,7
	Озимая тритикале / Winter triticale		45,0	46,0	+1,0	102,2
	Овес / Oats	1	39,6	46,7	+7,1	117,9
		2	39,5	45,5*	+6,0	115,2
	Ячмень / Barley		22,4	21,7	-0,7	97,0
	Полба / Spelt		21,0	22,0*	+1,0	104,8
Масса 1000 зерен, г / Mass of 1000 grains, g	Озимая рожь / Winter rye	1	34,0	34,5	+0,5	101,5
		2	28,0	28,9	+0,9	103,2
	Озимая тритикале / Winter triticale		45,6	44,5	-1,1	97,6
	Овес / Oats	1	31,6	33,2	+1,6	105,1
		2	32,8	33,2*	+0,4	101,2
	Ячмень / Barley		43,4	46,7	+3,3	107,6
	Полба / Spelt		32,1	29,5*	-2,6	91,9
Масса зерна с колоса (метелки), г / The mass of grain in the ear (panicle), g	Озимая рожь / Winter rye	1	2,08	2,29	+0,21	110,1
		2	1,50	1,62	+0,12	108,0
	Озимая тритикале / Winter triticale		2,07	2,07	0	0
	Овес / Oats	1	1,25	1,55	+0,30	124,0
		2	1,29	1,51*	+0,22	117,0
	Ячмень / Barley		0,97	1,02	+0,05	105,1
	Полба / Spelt		0,67	0,65*	-0,02	97,0
Среднее по культурам / Average in crops			1,40	1,54	+0,14	110,0

Примечания: * посев – СЗГК-3,6У; годы проведения опытов: озимая рожь: 1 – 1991-1993, 2 – 2016-2018; озимая тритикале – 2015-2018; овес: 1 – 1991-1993, 2 – 2015-2018; ячмень – 1991-1994; полба – 2017-2019; 1991-1994 – среднее по 2-м вариантам предпосевной обработки почвы /

Note: * sowing – SZGK-3.6U; years of experiment: winter rye: 1 – 1991-1993, 2 – 2016-2018; winter triticale – 2015-2018; oats: 1 – 1991-1993, 2 – 2015-2018; barley – 1991-1994; spelt – 2017-2019; 1991-1994 – the average in 2 variants of pre-sowing tillage.

Исследования на озимой ржи показали, что более высокий урожай ее формируется при гребнистом ленточно-разбросном способе посева как за счет более равномерного распределения семян по площади питания, так и за счет улучшения почвенных условий в зоне расположения узла кушения в осенний и ранневесенний периоды вегетации. При этом за счет улучшения площади питания формируется 35,2 % прибавки урожая, за счет профилирования поверхности – 64,8 %.

В структурном отношении увеличение урожая ржи в первом опыте (1991-1993 гг.) произошло, в основном, за счет большего количества продуктивных стеблей на единице площади – на 54,0 % и лучшей озерненности колоса – на 30,5 %. Долевое участие числа зерен в увеличении массы зерна колоса составило 66,7 %. Во втором опыте (2016-2018 гг.) при гребнистом посеве увеличение урожайности за счет количества стеблей с колосом составило 42,1 %, за счет массы зерна с колоса – 57,5 %. Прирост массы зерна с колоса на 60,0 % был получен за счет увеличения количества зерен в колосе. В целом, за счет увеличения количества продуктивных стеблей и числа зерен в колосе, в первом опыте у ржи сформировалось 84,0 % прибавки урожая, во втором – 78,4 %.

У овса (1991-1993 гг.) в первом опыте весь прирост урожая при гребнистом посеве был получен за счет увеличения массы зерна метелки (135,2 %) при некотором снижении количества стеблей с метелкой. Масса зерна метелки увеличилась, в основном, за счет большего количества зерен в метелке – на 88,0 %. Во втором опыте (2015-2018 гг.) 41,6 % прироста урожая при гребнистом улучшенном способе посева было получено от увеличения количества продуктивных стеблей и 58,4 % – от увеличения массы зерна метелки. При этом, как и в первом опыте, основной прирост массы зерна метелки (90,4 %) сформировался за счет увеличения числа зерен.

У ячменя, наоборот, основная масса прироста урожая была получена за счет увеличения количества стеблей с колосом (74,4 %). От увеличения массы зерна с колоса прирост урожая составил только 25,6 % и был полностью получен за счет большей массы 1000 зерен. Весь прирост урожая озимой тритикале и полбы на гребнистых посевах был получен за счет увеличения количества продуктивных стеблей.

Наблюдения показали, что при гребнистом ленточно-разбросном способе посева

зерновых культур создавались более благоприятные условия для фотосинтетической деятельности посевов и реализации их фотосинтетического потенциала. На растениях это проявлялось, прежде всего, в увеличении площади листовой поверхности. У ржи максимальная площадь листьев при ленточно-разбросном гребнистом посеве ржи увеличилась на 9,1 %, а биомасса растений в фазу полной спелости – на 13,8 %. Фотосинтетический потенциал посевов озимой ржи увеличился на 505 единиц. У озимой тритикале в осенний период в фазу кушения, по сравнению с обычным рядовым посевом, листовая поверхность была больше на 42,3 %, в фазу выхода растений в трубку – на 31,3, в фазу колошения – на 33,1 %. У овса улучшенный вариант гребнистого посева, по сравнению с обычным, увеличивал воздушно-сухую массу растений овса в фазу кушения на 12,2 %, максимальную площадь листьев – на 14,1 %, ФПП – на 3,0 %. По сравнению с рядовым посевом площадь листьев у овса при посеве СЗГК-3,6У в фазу кушения была больше на 47,6 %, а фазу выметывания – на 11,6 %. У полбы в фазу полного кушения растений площадь листьев при гребнистом ленточно-разбросном способе посева (СЗГК-3,6), по сравнению с рядовым, была больше на 1,4 тыс. м²/га (на 34,1 %), при улучшенном гребнистом (в среднем) – на 3,1 тыс.м²/га (на 75,6 %). По сравнению с обычным гребнистым посевом улучшенный вариант, в зависимости от режима вдавливания семян, увеличивал площадь листьев на 0,9-3,3 тыс. м²/га, или 16,4-60,0 %.

При посеве зерновых культур гребнистым ленточно-разбросным способом снижается засоренность посевов. Наблюдения проводили на озимой ржи, озимой тритикале, овсе, полбе. Засоренность посевов озимой тритикале при гребнистом ленточно-разбросном способе посева (СЗГК-3,6) снижалась по количеству сорных растений на 50 % и по массе – на 25 %. У полбы при гребнистом ленточно-разбросном способе посева наблюдали заметное снижение в посевах, прежде всего, количества однолетних сорняков. По данным за 2 года, воздушно-сухая биомасса малолетних сорняков при гребнистом ленточно-разбросном способе посева уменьшилась, по сравнению с контролем, на 45,4-54,7 %, многолетних – на 15,4-30,8 %. Засоренность посевов овса однолетними сорняками также уменьшилась и по количеству, и по массе сорняков. Следует отметить, что на греб-

нистых посевах действие гербицида на засоренность овса было более эффективным, чем при обычном рядовом, что связано, видимо, с инфраструктурными особенностями размещения растений по площади при ленточно-разбросном способе посева. Отмечено также, что при гребнистом способе посева снижалось поражение растений снежной плесенью и корневыми гнилями. При гребнистом способе распространение снежной плесени снижалось, по сравнению с контролем, на 2,3 абс.%, корневых гнилей с 31,5-42,6 до 21,8-30,8 %, развитие с 16,0-17,8 до 10,0-13,0 %.

При одинаковой металлоемкости и производительности сравниваемых вариантов сеялок экономическая эффективность гребнистого ленточно-разбросного способа посева определяется стоимостью дополнительно полученной продукции. При обычном гребнистом способе посева стоимость дополнительно полученной продукции с 1 га по культурам составила 1620-6000 руб., при улучшенном – 5840-9520 руб.

Выводы. Таким образом, в условиях северо-западной части Нечерноземной зоны Российской Федерации на осушаемых землях зерновые культуры (озимые рожь и тритикале, овес, ячмень, полба) целесообразно выращивать на специально профилированной гребнистой поверхности почвы. Для озимых зерновых культур при гребнистом ленточно-разбросном

способе посева существенно улучшаются условия для осеннего развития растений и более полной сохранности их при перезимовке. На яровых зерновых культурах улучшенный гребнистый ленточно-разбросной способ посева является эффективным приемом, позволяющим адаптировать технологию посева к засушливым погодным условиям в период проведения посевных работ и повышенному увлажнению почвы после посева. При его применении повышается полевая всхожесть семян, улучшаются биометрические параметры посевов, усиливается их фотосинтетическая деятельность, увеличивается выживаемость растений, количество продуктивных стеблей, озерненность колоса (метелки) и масса 1000 зерен, повышается продуктивность посевов. Прибавки урожая по культурам и опытам колебались от 0,21 до 1,19 т/га (от 6,3 до 68,0 %).

Преимущество гребнистого посева формируется путем оптимизации площади питания растений и агрофизических условий в посевном слое почвы за счет удаления пересохшей почвы с посевного ложе, лучшего контакта семян с почвой, оптимальной глубины заделки семян, более высокой полевой всхожести семян и интенсивного стартового роста растений. Посев зерновых культур гребнистым ленточно-разбросным способом проводится переоборудованными для этих целей зерновыми сеялками СЗ-3,6.

Список литературы

1. Савицкий М. С. Теоретические основы методики определения норм высева зерновых культур по оптимальному стеблестоя. Нормы высева, способы посева и площади питания сельскохозяйственных культур: науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1971. С. 5-12.
2. Синягин И. И. Площади питания растений. М.: Россельхозиздат, 1970. 232 с.
3. Усанова З. И. Теория и практика создания высокопродуктивных посевов полевых культур. Тверь, 1999. 330 с.
4. Пыхтин И. Г., Гостев А. В., Нитченко Л. Б., Плотников В. А. Теоретические основы эффективного применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур. Земледелие. 2016;(6):16-19. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-effektivnogo-primeneniya-sovremennyh-resursosberegayuschih-tehnologiy-vozdelyvaniya-zernovyh-kultur>
5. Бакиров Ф. Г. Роль способа посева в повышении эффективности ресурсосберегающих технологий и урожайности. Зерновое хозяйство. 2006;(8):11-12.
6. Несмиян А. Ю., Ценч Ю. С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(3):45-52. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
7. Фатыхов И. Ш., Колесникова В. П. Адаптация технологий возделывания овса посевного. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2013;(1 (34)):4-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20505450>
8. Митрофанов Ю. И. Совершенствование способов и технических средств посева зерновых культур на осушаемых землях. Механізація і електрифікація сільського господарства. 2012;96:60-67. Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg_2012_96_7
9. Абашев В. Д. Озимая рожь на осушаемой пашне. Достижения науки и техники АПК. 2012;(6):45-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17771282>

10. Распегова Е. В., Леонова Т. А., Очеретенко Т. И. Озимая твердая пшеница. Зерновое хозяйство. 1990;(5):27-28.
11. Митрофанов Ю. И., Анциферова О. Н., Пугачева Л. В., Лукьянов С. А. Технологические особенности возделывания озимой ржи на осушаемых землях Нечерноземной зоны. Бюллетень науки и практики. 2018;4(5):162-171. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34976868>
12. Belous I., Shapovalov V., Malyavko G., Prosyannikov E., Yagovenko G. The effectiveness of chemicals in the cultivation of winter rye on soil contaminated by radiation. Amazonia Investiga. 2019;8 (23):759-766. URL: <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/931/864>
13. Shao X., DiMarco K., Richard T. L., Lynd L. R. Winter rye as a bioenergy feedstock: impact of crop maturity on composition, biological solubilization and potential revenue. Biotechnol Biofuels. 2015;8(35). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0225-z>
14. Kantar M., Porter P. Relationship between planting date growing degree days and the winter rye (*Secale cereale* L.) variety «Rymin» in Minnesota. Crop Management. 2014;13 (1):1-9. URL: <https://doi.org/10.2134/cm-2013-0096-rs>
15. Serenius M., Huusela-Veistola E., Avikainen H., Pakkala K., Laine A. Effects of sowing time on pink snow mould, leaf rust and winter damage in winter rye varieties in Finland. Agricultural and Food Science in Finland. 2005;14(4):362-376. DOI: <https://doi.org/10.2137/145960605775897696>
16. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А., Семенова Т. В., Точилин В. Н., Цыганкова Н. В., Скатова С. Е., Крахмалева О. А. Экологическая устойчивость сортов озимой ржи с различным типом короткостебельности. Российская сельскохозяйственная наука. 2019;(3):3-9. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201933-9>
17. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А., Семенова Т. В., Точилин В. Н. Оценка экологической стабильности и пластичности инбредных линий озимой ржи. Российская сельскохозяйственная наука. 2015;(2):3-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22857291>
18. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Шляхтина Е. А., Шамова М. Г., Парфенова Е. С. Технологические особенности возделывания сорта озимой ржи Фаленская 4 в условиях изменяющегося климата. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;5(48):34-38. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113601>
19. Уткина Е. И., Кедрова Л. И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;1(62):11-18. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18>

References

1. Savitskiy M. S. *Teoreticheskie osnovy metodiki opredeleniya norm vyseva zernovykh kul'tur po optimal'nomu steblestoyu*. [Theoretical foundations of the methodology for determining the norms of sowing of grain crops by the optimal stalk]. *Normy vyseva, sposoby poseva i ploshchadi pitaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: nauch. tr. VASKhNIL*. [Sowing norms, methods of sowing and nutrition area of agricultural crops: Scientific works of VASKhNIL]. Moscow: Kolos, 1971. pp. 5-12.
2. Sinyagin I. I. *Ploshchadi pitaniya rasteniy*. [Area of plant nutrition]. Moscow: Rossel'khozizdat, 1970. 232 p.
3. Usanova Z. I. *Teoriya i praktika sozdaniya vysokoproduktivnykh posevov polevykh kul'tur*. [The theory and practice of creating highly productive sowings of field crops]. Tver', 1999. 330 p.
4. Pykhtin I. G., Gostev A. V., Nitchenko L. B., Plotnikov V. A. *Teoreticheskie osnovy effektivnogo primeneniya sovremennykh resursosberegayushchikh tekhnologiy vozdel'yvaniya zernovykh kul'tur*. [Theoretical Basis for Effective Application of Modern Resource-Saving Technologies of Grain Crops Cultivation]. *Zemledelie*. 2016;(6):16-19. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-effektivnogo-primeneniya-sovremennykh-resursosberegayushchih-tehnologiy-vozdel'yvaniya-zernovykh-kul'tur>
5. Bakirov F. G. *Rol' sposoba poseva v povyshenii effektivnosti resursosberegayushchikh tekhnologiy i urozhaynosti*. [The role of the method of sowing in improving the efficiency of resource-saving technologies and productivity]. *Zernovoe khozyaystvo*. 2006;(8):11-12. (In Russ.).
6. Nesmiyan A. Yu., Tsench Yu. S. *Tendentsii i perspektivy razvitiya otechestvennoy tekhniki dlya poseva zernovykh kul'tur*. [Tendencies and Prospects for the Development of Domestic Machinery for Sowing Grain Crops]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(3):45-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
7. Fatykhov I. Sh., Kolesnikova V. P. *Adaptatsiya tekhnologiy vozdel'yvaniya ovsa posevnogo*. [Adaptation oat cultivation technology]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2013;(1 (34)):4-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20505450>
8. Mitrofanov Yu. I. *Sovershenstvovanie sposobov i tekhnicheskikh sredstv poseva zernovykh kul'tur na osushaemykh zemlyakh*. [Perfection of ways and mean of crop of grain crops on the drained grounds]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2012;96:60-67. (In Ukraine). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg_2012_96_7
9. Abasheev V. D. *Ozimaya rozh' na osushaemoy pashne*. [Winter rye on drained arable land]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(6):45-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17771282>

10. Raspetova E. V., Leonova T. A., Ocheretenko T. I. *Ozimaya tverdaya pshenitsa*. [Durum winter wheat. Grain Farming]. *Zernovoe khozyaystvo*. 1990;(5):27-28. (In Russ.).
11. Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N., Pugacheva L. V., Luk'yanov S. A. *Tekhnologicheskie osobennosti vozdeleyvaniya ozimoy rzhi na osushaemykh zemlyakh Nechernozemnoy zony*. [Innovative technology of cultivation of winter rye on drained lands]. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2018;4(5):162-171. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34976868>
12. Belous I., Shapovalov V., Malyavko G., Prosyannikov E., Yagovenko G. The effectiveness of chemicals in the cultivation of winter rye on soil contaminated by radiation. *Amazonia Investiga*. 2019;8 (23):759-766. URL: <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/931/864>
13. Shao X., DiMarco K., Richard T. L., Lynd L. R. Winter rye as a bioenergy feedstock: impact of crop maturity on composition, biological solubilization and potential revenue. *Biotechnol Biofuels*. 2015;8(35). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0225-z>
14. Kantar M., Porter P. Relationship between planting date growing degree days and the winter rye (*Secale cereale* L.) variety «Rymin» in Minnesota. *Crop Management*. 2014;13 (1):1-9. URL: <https://doi.org/10.2134/cm-2013-0096-rs>
15. Serenius M., Huusela-Veistola E., Avikainen H., Pakkala K., Laine A. Effects of sowing time on pink snow mould, leaf rust and winter damage in winter rye varieties in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland*. 2005;14(4):362-376. DOI: <https://doi.org/10.2137/145960605775897696>
16. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N., Tsygankova N. V., Skatova S. E., Krakhmaleva O. A. *Ekologicheskaya ustoychivost' sortov ozimoy rzhi s razlichnym tipom korotkostebel'nosti*. [Ecological stability of varieties of winter rye with various type of a short-stem]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2019;(3):3-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201933-9>
17. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N. *Otsenka ekologicheskoy stabil'nosti i plastichnosti inbrednykh liniy ozimoy rzhi*. [Estimation of ecological stability and plasticity inbred lines of a winter rye]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2015;(2):3-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22857291>
18. Utkina E. I., Kedrova L. I., Shlyakhtina E. A., Shamova M. G., Parfenova E. S. *Tekhnologicheskie osobennosti vozdeleyvaniya sorta ozimoy rzhi Falenskaya 4 v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata*. [Technological features of cultivation of winter rye Falenskaya 4 under conditions of changing climate]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;5(48):34-38. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113601>
19. Utkina E. I., Kedrova L. I. *Zimostoykost' ozimoy rzhi: problemy i resheniya*. [Winter hardiness in winter rye: problems and solutions]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;1(62):11-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18>

Сведения об авторах

Митрофанов Юрий Иванович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0994-6743>

✉ **Анциферова Ольга Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологий, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5494-710X>

Information about the authors

Yuri. I. Mitrofanov, PhD in Agricultural science, leading researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0994-6743>

✉ **Olga N. Antsiferova**, PhD in Agricultural science, leading researcher, the Department of Biotechnologies, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute), Emmaus Village, 27, Kalininsky District, Tver Region, Russian Federation, 170530, 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5494-710X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.313-320>

УДК 620:97



Моделирование оптимального компонентного состава биодизельного топлива

© 2020. Д. В. Варнаков¹✉, С. А. Симачков², В. В. Варнаков¹

¹ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

В статье приведены результаты исследования по определению компонентного состава биодизельного топлива на рапсовой основе, выполнено моделирование оптимального компонентного состава с учётом низкотемпературных свойств и цетанового числа. На основе проведенных исследований получены математические модели изменения низкотемпературных свойств биодизельного топлива в зависимости от процентного содержания рапсового масла, определено и обосновано оптимальное соотношение его компонентов. Испытания проводили в 2012-2019 гг. Изучаемые температурные пределы соответствуют крайним значениям температуры центрального и южного регионов Российской Федерации. Второй важной задачей являлось определение оптимального соотношения дизельного топлива и рапсового масла при обеспечении требований ГОСТ P52368-05 по цетановому числу биодизельного топлива. Исследования по определению оптимального процентного соотношения рапсового масла и дизельного топлива на цетановое число показали, что биодизельное топливо, в составе которого присутствует рапсовое масло в концентрации до 30 %, удовлетворяет требованиям ГОСТ P52368-05 (ЕН 590:2009). В работе использовали сертифицированное оборудование, а методика соответствовала требованиям государственного стандарта на их проведение. Для решения задачи по определению оптимального соотношения компонентов биодизельного топлива была предложена методика оценки низкотемпературных свойств и цетанового числа, а также была проанализирована зарубежная научная литература по изучаемому вопросу. По результатам проведенных исследований были выдвинуты и подтверждены гипотезы об изменении низкотемпературных свойств и цетанового числа биодизельного топлива при увеличении в нем доли рапсового масла, а также возможности математического моделирования его оптимального компонентного состава, соответствующего температурным условиям окружающей среды при эксплуатации техники. Достоверность аппроксимации полученных зависимостей составила 0,83...0,91 при определении низкотемпературных свойств образцов биодизельного топлива в пределах заданных температур от -40 до 0 °C.

Ключевые слова: дизельное топливо, низкотемпературные свойства, цетановое число, рапсовое масло, альтернативные топлива, биотопливо, температура помутнения, температура кристаллизации, температура застывания.

Благодарности: работа выполнялась за счет собственных финансовых средств. Авторы выражают благодарность сотрудникам Ульяновского филиала Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, испытательной лаборатории нефтепродуктов (г. Ижевск) за содействие в проведении исследований.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Варнаков Д. В., Симачков С. А., Варнаков В. В. Моделирование оптимального компонентного состава биодизельного топлива. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(3):313-320.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.313-320>

Поступила: 05.03.2020

Принята к публикации: 28.04.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Modeling of the optimal component composition of biodiesel fuel

© 2020. Dmitry V. Varnakov¹✉, Sergey A. Simachkov², Valery V. Varnakov¹

¹Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation,

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

The article presents the results of study to determine the component composition of rape-based biodiesel. Modeling of the optimal component composition taking into account low-temperature properties and cetane number was carried out. According to the studies, mathematical models of changes in the low-temperature properties of biodiesel fuel depending on the percentage of rapeseed oil were obtained, the optimal ratio of its components was determined and justified. The tests were conducted

in 2012-2019. The studied temperature limits correspond to the extreme temperature values of the central and southern regions of the Russian Federation. The second important task was to determine the optimal ratio of diesel fuel and rapeseed oil while meeting the requirements of GOST R52368-05 for the cetane number of biodiesel fuel. Studies of the optimal percentage ratio of rapeseed oil and diesel fuel per cetane number showed that biodiesel, which contains rapeseed oil in a concentration of up to 30 %, meets the requirements of GOST R52368-05 (EN 590:2009). Certified equipment was used in the studies, and the methodology met the requirements of the state standard for their implementation. To solve the problem of determining the optimal ratio of biodiesel components, a methodology for assessing temperature and cetane number properties, as well as foreign scientific literature was analyzed in the field of research data. According to the results of the research, hypotheses were put forward that the low-temperature properties and cetane number of biodiesel fuel change with an increase in the proportion of rapeseed oil in it, as well as the possibility of mathematical modeling of its optimal component composition corresponding to environmental temperature conditions during operation of the equipment. The reliability of the approximation of the obtained dependences was 0.83...0.91 when studying the low-temperature properties of biodiesel samples within the specified temperatures from -40 to 0 °C.

Keywords: diesel fuel, low temperature properties, cetane number, rapeseed oil, alternative fuels, biofuels, cloud point, crystallization temperature, pour point

Acknowledgments: the research was carried out at the authors' own expense. The authors are grateful to the staff of the Ulyanovsk Branch of the Institute of Radio Engineering and Electronics named after V. A. Kotelnikov RAS, testing laboratory of petroleum products (Izhevsk) for assistance in conducting research.

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

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

For citation: Varnakov D. V., Simakov S. A., Varnakov V. V. Modeling of the optimal component composition of biodiesel fuel. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):313-320. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.313-320>

Received: 05.03.2020

Accepted for publication: 28.04.2020

Published online: 23.06.2020

В странах Западной Европы и Соединенных Штатах активно поддерживаются программы по использованию альтернативных видов топлива на автомобильном транспорте¹. Осуществляется это, главным образом, освобождением от налогообложения². Несмотря на подобную поддержку внедрения альтернативных видов топлива существует ряд причин, ограничивающих использование биотоплива на автомобильном транспорте. Одной из причин, которая ограничивает распространение биодизельного топлива, является его низкая стабильность в процессе хранения, т. е. ограничение сроков сохранения его качества. Не менее значимой проблемой является уменьшение температурных границ применения биотоплива, в частности биодизельного. Большое значение низкотемпературные свойства топлива имеют при эксплуатации техники в условиях низких температур, что напрямую связано с изменением его физико-химических свойств. При низких температурах протекают процессы непосредственного образования и разрастания кристаллического парафина, что приводит к засорению топливных элементов

и отказу всей топливной системы дизельного двигателя [1, 2, 3].

Способ получения биодизельного топлива заключается в непосредственном смешивании дизельного топлива с различными компонентами растительного происхождения. При применении биодизельного топлива на автомобильном транспорте дизельное топливо с различными компонентами, полученными на основе растительного сырья, смешивают в разном соотношении, что определяется физико-химическими, экологическими и энергетическими требованиями [4, 5, 6].

В случае необходимости увеличения сроков хранения биодизельного топлива используют метод повышения окислительной стабильности биотоплива, который предполагает добавление в его состав компонентов, противодействующих окислению³ [7].

Для улучшения свойств дизельного топлива, при использовании его в среде с низкой температурой, применяют способ, который основан на добавлении депрессорных присадок в его состав. Эти присадки препятствуют росту кристаллов парафина, а также формируют достаточно прочную кристаллическую

¹Информационный сайт Европейской Комиссии [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/studies/doc/2016-01-21-alternative-fuels-and-infrastructure-in-seven-non-eu-markets.pdf> (дата обращения 15.04.2020).

²Информационно-аналитическое агентство Cleandex. [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://www.cleandex.ru/articles/2008/07/08/biofuels-europe> (дата обращения 15.04.2020).

³Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года № ВП-П8-2322 (Программа «БИО-2020», утверждена Председателем Правительства Российской Федерации В. В. Путиным 24 апреля 2012 года за № 1853п-П8 [Электронный ресурс]. М., 2013.

Режим доступа: <http://biotech2030.ru/platforma/strategii-2/bio2020/>

решетку, что позволяет снизить предельную температуру фильтрации и температуру застывания топлива. Данные свойства биодизельного топлива зависят не только от наличия присадок в своем составе, но также и от доли компонентов растительного происхождения вследствие того, что предельная температура фильтрации этих компонентов выше, чем у дизельного топлива. Для применения биодизельного топлива при температурах ниже 0 °С важным условием является определение температур эксплуатационного предела для конкретного компонентного состава при условии соблюдения требований ГОСТ Р52368-05 [8, 9, 10, 11].

Таким образом, установление оптимального соотношения компонентов биодизельного топлива с учетом его эксплуатационных свойств, проявляющихся при низкой температуре, а также составление дифференциальных уравнений, которые позволяют определить оптимальный компонентный состав для работы в определенной климатической зоне, является актуальной и важной задачей [12, 13, 14].

Цель работы – разработать методику определения оптимального компонентного состава биодизельного топлива и получить математические зависимости наилучшего соотношения компонентов, удовлетворяющие температурным условиям применения топлива.

Материал и методы. На этапе планирования эксперимента необходимо учесть, что разница между максимальными и минимальными температурами в регионах, где предусмотрено применение летнего и зимнего видов дизельного топлива по ГОСТ Р52368-05 равна 70 °С. При этом также учитывали, что в некоторых регионах Российской Федерации преобладающую часть года температура ниже 0 °С. Поэтому при проведении исследований эксплуатационных свойств биодизельного топлива при низких температурах необходимо получить дифференциальные зависимости, которые позволяют установить приемлемую пропорцию компонентов дизельного топлива, обеспечивающую надежную работу двигателя при температуре окружающей среды ниже 0 °С.

Испытания проводили в Ульяновском филиале Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН в 2012-2019 гг. В исследовании использовали биодизельное топливо, состоящее из зимнего дизельного топлива и рапсового масла. Было подготовлено 11 образцов, из которых 9 проб составляло биодизельное топливо с различным содержанием компонентов (содержание дизельного

топлива меняли пропорционально, начиная с 10 % и до 90 % включительно); 1 проба – только дизельное топливо; 1 проба – только рапсовое масло.

При исследовании проб использовали анализатор низкотемпературных свойств нефти и нефтепродуктов «ИРЭН 2.3», который позволяет быстро определить температуры помутнения, начала кристаллизации и застывания различных видов нефтепродуктов [14].

Температуру помутнения в данном приборе определяли путем фиксирования изменений оптического сигнала, проходящего через топливо, находящегося внутри специальной емкости в охлажденном состоянии. Также данный прибор, путем фиксирования изменений амплитуды колебаний зонда вибрации, расположенного в специальной емкости, способен определять температуру кристаллизации и застывания пробы. Следует отметить, что используемый прибор соответствовал по характеристикам лучшим мировым аналогам. Применение автономной системы охлаждения, основанной на термических и электрических принципах воздействия, а также реализация регистрации исследуемых параметров по оптическому и вибрационному способам, обеспечивает данному прибору высокую точность измерения.

Также необходимо учесть важность такого эксплуатационного параметра, как цетановое число, которая обусловлена его универсальной значимостью для любого вида дизельного топлива и состоит в определении периода задержки воспламенения топливной смеси. Исследования по нахождению цетанового числа биодизельного топлива в зависимости от соотношения его компонентов проводили на установке ИДТ-90. Всего изучали три образца биодизельного топлива с содержанием в них рапсового масла в диапазоне от 10 до 30 % включительно.

Установка, на которой происходили исследования, представляет собой четырехтактный предкамерный двигатель внутреннего сгорания с переменной степенью сжатия, имеющий один цилиндр, где рабочим телом является поршень. Установка была оснащена системой контроля и измерительной аппаратурой. Используемая аппаратура представляет собой систему, состоящую из бесконтактных датчиков впрыска и воспламенения топлива, что позволяет определять цетановое число в диапазоне от 20 до 80 единиц включительно.

Исследование биодизельного топлива проводили по методу «совпадения вспышек».

Выбор данного метода заключается в его соответствии ГОСТ 3122-67. В качестве регистратора исследуемых параметров был применен индикатор периода задержки воспламенения (ИПЗВ-2). Датчик имеет двухшкальную систему отсчета, что позволяет одновременно реагировать как на период задержки воспламенения смеси, так и момент впрыска. Имея вышеупомянутое преимущество, данный прибор позволяет отследить необходимую степень сжатия и угол впрыска. Также контролировали время задержки топливного самовоспламенения по отношению к началу топливного впрыска.

Метод «совпадения вспышек» основан на сравнении воспламеняемости топлив. Данную характеристику биодизельного топлива сравнивали с подобной характеристикой, присутствующей эталонным жидкостям с известными показателями цетанового числа. Также стоит отметить и одинаковость условий при проведении экспериментов для достижения точности полученных данных.

Результаты и их обсуждение. В процессе исследования эксплуатационных свойств

биодизельного топлива при низких температурах проводили 3 анализа каждой пробы с определением среднего арифметического. Для отбора нормируемого количества исследуемого топлива применяли лабораторный шприц с насадками, которые меняли при каждом новом исследовании. В каждом эксперименте 0,2 мл топлива помещали в специальную емкость, оснащенную зондом вибрации. При этом исследуемый объем герметизировали во избежание воздействия окружающей среды.

Прежде чем приступить к исследованиям, прибор откалибровали. Процесс охлаждения пробы запускали лишь после приведения ее к температуре 20 °С. Пробы охлаждали до температуры -53 °С. После охлаждения в специальной емкости пробу топлива подвергали последовательному нагреванию до температуры 20 °С. Измеряемые параметры в процессе исследований интенсивностью восемь раз в секунду отображались на дисплее прибора. Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице.

Таблица – Результаты определения низкотемпературных свойств биодизельного топлива / Table 1 – The results of determining the low temperature properties of biodiesel

Исп-ба / Test	Исследуемый параметр / The studied parameter	Содержание рапсового масла в дизельном топливе, % / The content of rapeseed oil in diesel fuel, %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
№1	Температура, °С / Temperature, °C:											
	помутнения / cloud point	-24,5	-24,5	-21,3	-19,2	-21,8	-19,2	-19,7	-17,5	-16,5	-15,4	-14,9
	начала кристаллизации / crystallization onset temperature	-27,0	-30,8	-27,0	-27,0	-26,4	-28,6	-25,3	-22,9	-20,2	-19,7	-20,8
	замерзания / pour point	-35,2	-34,1	-30,2	-29,1	-29,7	-31,3	-27,5	-27,0	-24,0	-22,9	-38,0
№2	Температура, °С / Temperature, °C:											
	помутнения / cloud point	-24,5	-24,5	-20,8	-19,7	-22,4	-21,8	-19,2	-17,0	-17,0	-15,4	-14,4
	начала кристаллизации / crystallization onset temperature	-27,0	-30,2	-27,0	-27,0	-26,4	-28,6	-25,9	-22,9	-20,8	-20,2	-20,8
	замерзания / pour point	-35,8	-34,1	-29,7	-29,1	-30,2	-31,9	-27,5	-25,3	-23,5	-24,5	-37,4
№3	Температура, °С / Temperature, °C:											
	помутнения / cloud point	-24,5	-23,5	-21,8	-19,7	-21,8	-21,3	-19,2	-17,5	-16,5	-15,9	-13,8
	начала кристаллизации / crystallization onset temperature	-27,0	-29,7	-28,6	-27,0	-25,9	-29,7	-25,3	-22,9	-20,2	-19,7	-20,8
	замерзания / pour point	-35,2	-32,4	-31,3	-29,1	-31,3	-30,8	-27,5	-25,9	-24,0	-23,5	-36,9

По данным таблицы видно, что понижение температуры топлива прямо пропорционально его вязкости. Для чистого зимнего дизельного топлива прослеживается резкое снижение вязкости при достижении температуры -27°C . Это согласуется с паспортными данными данного топлива. При достижении же топливной емкостью температуры $-24,5^{\circ}\text{C}$ – отмечалось значительное снижение уровня сигнала от оптического модуля, что свиде-

тельствовало о достижении температуры помутнения данного топлива.

На основании проведенных исследований были определены зависимости низкотемпературных эксплуатационных свойств биодизельного топлива на основе рапса от компонентов, входящих в его состав. Зависимости параметров биодизельного топлива с рапсовым маслом, определяющих его низкотемпературные свойства, представлены в виде полиномов (рис. 1).

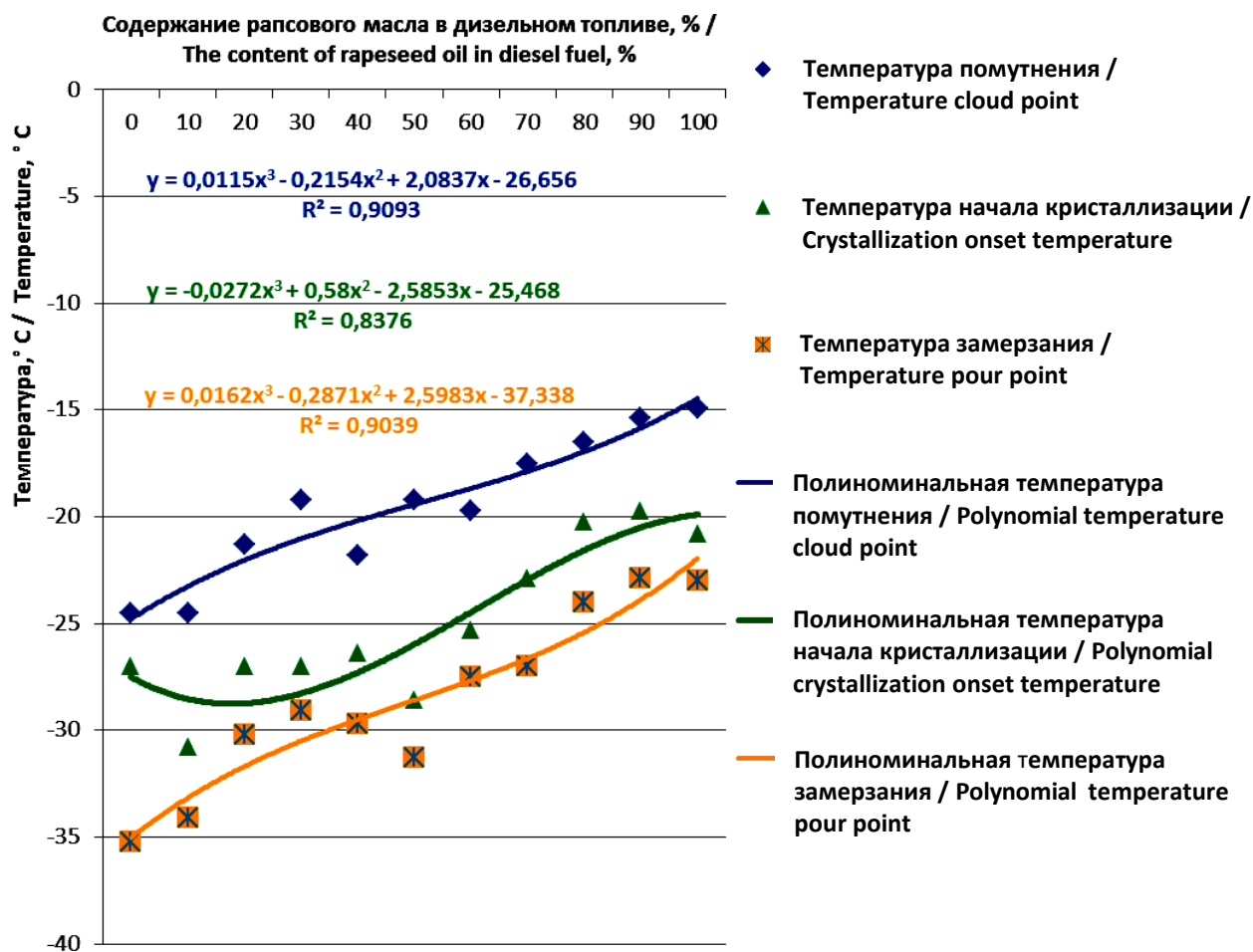


Рис. 1. Полиномиальная аппроксимация температур помутнения, начала кристаллизации и застывания биодизельного топлива от содержания в нем рапсового масла, $^{\circ}\text{C}$ /

Fig. 1. Polynomial approximation of the cloud point, the onset of crystallization and solidification of biodiesel from the content of rapeseed oil, $^{\circ}\text{C}$

Проанализировав рисунок 1, можно сделать вывод о наличии некой закономерности: при увеличении процентного соотношения рапсового масла в биодизельном топливе температуры его помутнения, начала кристаллизации и застывания также повышаются.

По результатам проведенных исследований проб по представленной методике были получены уравнения, позволяющие осуществить моделирование оптимального компонент-

ного состава биодизельного топлива в зависимости от температуры окружающей среды.

Температура помутнения

$$y = 0,0115x^3 - 0,2154x^2 + 2,0837x - 26,656, \quad (1)$$

где x – процентное содержание рапсового масла в дизельном топливе.

Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9093$.

Температура начала кристаллизации

$$y = -0,0272x^3 + 0,58x^2 - 2,5853x - 25,468. \quad (2)$$

Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,8376$.

Температура замерзания

$y = 0,0162x^3 - 0,2871x^2 + 2,5983x - 37,338$. (3)
Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9039$.

Исследования показали, что увеличение содержания рапсового масла в биодизельном топливе приводит к ухудшению его эксплуатационных свойств при отрицательной температуре. Однако приемлемые эксплуатационные свойства моторного топлива можно обеспечить путем контроля за содержанием масла растительного происхождения (в нашем случае рапсового) в дизельном топливе, которое не должно превышать 30 %.

После проведения эксперимента на основании полученных результатов была полу-

чена зависимость цетанового числа от содержания рапсового масла в составе биодизельного топлива. Исследования оптимального процентного соотношения рапсового масла и дизельного топлива на цетановое число проводили в испытательной лаборатории нефтепродуктов (г. Ижевск), аккредитованной Госстандартом России на техническую компетентность и независимость.

На одноцилиндровой установке для определения цетановых чисел дизельных топлив ИДТ-90 проводили исследования трех проб с содержанием рапсового масла 10 %, 20 % и 30 %. Диапазон определения цетановых чисел – от 20 до 80 (рис. 2).

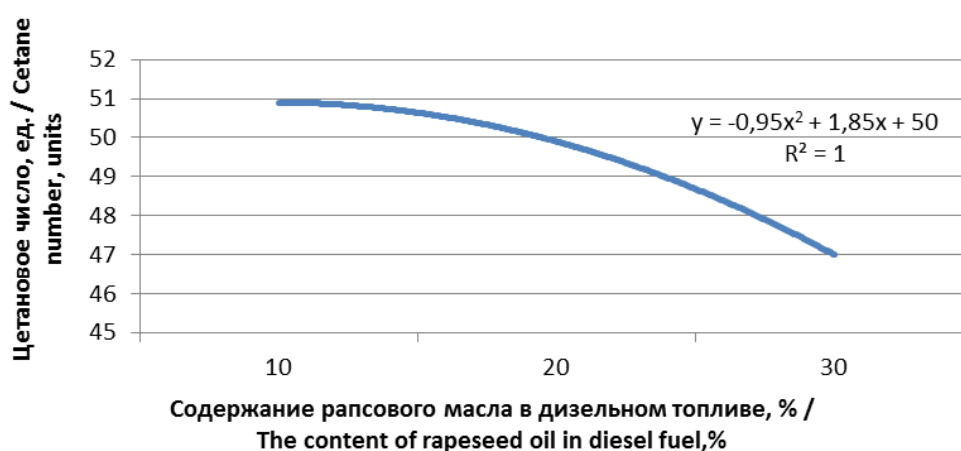


Рис. 2. Полиномиальная аппроксимация цетанового числа биодизельного топлива в зависимости от содержания в нем рапсового масла /

Fig 2. Polynomial approximation of the cetane number of biodiesel depending on the content of rapeseed oil

Результаты, полученные в ходе исследований цетанового числа биодизельного топлива при применении рапса в качестве его компонента, представлены в виде аппроксимирующей функции

$$y = -0,95x^2 + 1,85x + 50. \quad (4)$$

Достоверность аппроксимации $R^2 = 1$.

Полученная закономерность свидетельствует о том, что при увеличении в биодизельном топливе процентного содержания рапсового масла в диапазоне от 10 до 30 % цетановое число уменьшается с 50,9 до 47,0 непосредственно. На основании требований ГОСТа Р52368-05 (ЕН 590:2009) к цетановому числу дизельного топлива необходимо, чтобы оно превышало 46 единиц. Это число было обеспечено в процессе проведения эксперимента. Увеличение же концентрации рапсового масла в составе биодизельного топлива свыше 30 % объективно приводит к ухудшению его эксплуатационных свойств, что негативно влияет на работу двигателя в целом. В качестве субъ-

ективных моментов повышения концентрации рапсового масла можно выделить такие негативные тенденции, как снижение полноты сгорания топлива, повышение его расхода, а также повышение дымности отработанных газов.

В ходе проводимых исследований были выдвинуты гипотезы об ухудшении низкотемпературных свойств биодизельного топлива при увеличении в нем доли рапсового масла, а также возможности математического моделирования его оптимального компонентного состава, соответствующего погодным условиям при эксплуатации техники. Полученные результаты эксперимента подтвердили обе выдвинутые гипотезы и не противоречат результатам схожих исследований.

Предложенная методика моделирования оптимального компонентного состава биодизельного топлива в зависимости от температуры окружающей среды и результаты оценки его низкотемпературных свойств могут быть использованы при разработке технических устройств смешивания компонентов.

Выводы.

1. Разработана методика определения оптимального компонентного состава биодизельного топлива и получены математические зависимости наилучшего соотношения компонентов, удовлетворяющие температурным условиям применения топлива. Экспериментально установлено, что требуемые эксплуатационные свойства биодизельного топлива, применяемого в центральном и южном регионах России, при низких температурах обеспечиваются только при концентрации рапсового

масла в биодизельном топливе, не превышающей 30 %.

2. Цетановое число биодизельного топлива, в составе которого присутствует рапсовое масло в концентрации до 30 %, удовлетворяет требованиям ГОСТа Р52368-05 (ЕН 590:2009).

3. Полученные математические зависимости позволяют определить основные параметры биодизельного топлива с различным соотношением его компонентов при использовании при температуре окружающей среды -40...0 °С с достоверностью аппроксимации 0,83...0,91.

Список литературы

1. Шиперова Т. П., Пушин В. А. Биотопливо и его практическое применение. Автотранспортное предприятие. 2009;(3):16-18.
2. Дидманидзе О. Н., Карев А. М., Митягин Г. Е. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе. Международный научный журнал. 2016;(1):53-65. Режим доступа: <http://www.tis-journal.com/contents/2016/vypusk-no1/#c10114>
3. Марков В. А., Иващенко Н. А., Девянин С. Н., Нагорнов С. А. Использование биотоплив на основе растительных масел в дизельных двигателях: Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. 2012;10(10):74-81. DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2012-10-391>
4. Федченко И. А., Соловцова А. С., Лукьянов А. Н. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000–2012 годы: аналитический отчет ОАО «Корпорации «Развитие» г. Белгород [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf (дата обращения 15.04.2020).
5. Ингендо Аксель (DE), Ротер Кристиан (DE), Хайзе Клаус-Петер (DE). Применение 2,6-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛГИДРОКСИТОЛУОЛА для повышения окислительной стабильности при хранении: патент № 2340655 (Российская Федерация). 2008. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2340655>
6. Девянин С. Н., Улюкина Е. А., Пуляев Н. Н. Исследование стабильности биотоплива на основе растительных масел. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В. П. Горячкина. 2012;(5 (56)):19-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20258746>
7. Доржеев А. А., Кайзер О. А. Экологичность дизелей при использовании биотоплива на основе рапсового масла. Проблемы современной аграрной науки: сб. мат-лов Международной заочной научн. конф. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2017. С. 37-39. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30697077>
8. Варнаков В. В., Варнаков Д. В., Платонов А. В. Устройство оперативного контроля качества биотоплива: пат. № 2471186 (Российская Федерация). №2011139934/15: заявл. 30.09.2011; опубл. 27.12.2012. Бюл. № 36. 5 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2471186&TypeFile=html
9. Варнаков В. В., Варнаков Д. В., Платонов А. В., Варнакова Е. А. Устройство контроля низкотемпературных свойств дизельных и биодизельных топлив с системой подогрева: патент на полезную модель 147779 (Российская Федерация). № 2014129446/28; заявл. 16.07.2014; опубл. 20.11.2014. Бюл. № 32. 2 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&rn=3339&DocNumber=147779&TypeFile=html
10. Варнаков В. В., Варнаков Д. В., Платонов А. В. Способ и система оценки стабильности качества биотоплива для дизельных двигателей. Международный научный журнал. 2013;(3):95-101.
11. Dale B., Huber D. The Fuel of the Future Is Grassoline. Scientific American 2009;(9):26-33. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/the-fuel-of-the-future-is-grassoline>
12. Senthil K. M., Ramesh A., Nagalingam B. Experimental investigations on a jatropha oil methanol dual fuel engine. SAE Technical Paper Series. 2001;0153:1-7. DOI: <https://doi.org/10.4271/2001-01-0153>
13. Измайлов А. Ю., Дидманидзе О. Н., Митягин Г. Е., Карев А. М. Ресурсосбережение на автомобильном транспорте. М.: ООО «УМЦ «Триада», 2016. 84 с.
14. Варнаков Д. В., Варнаков В. В., Варнакова Е. А. Результаты исследований низкотемпературных свойств и цетанового числа биодизельного топлива. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(2(34)):168-173. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26367447>

References

1. Shiperova T. P., Pushchin V. A. *Bioplivo i ego prakticheskoe primenenie*. [Biofuel and its practical application. Motor transport company]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2009;(3):16-18. (In Russ.).
2. Didmanidze O. N., Karev A. M., Mityagin G. E. *O perspektivakh razvitiya avtomobil'nogo transporta v agropromyshlennom komplekse*. [About prospects of development of the automobile transport in agro-industrial complex]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal* = The International Scientific Journal. 2016;(1):53-65. (In Russ.). URL: <http://www.tis-journal.com/contents/2016/vypusk-no1/#c10114>
3. Markov V. A., Ivashchenko N. A., Devyanin S. N., Nagornov S. A. *Ispol'zovanie biotopliv na osnove rastitel'nykh masel v dizel'nykh dvigatelyakh*. [Use of vegetable oils based biofuels in diesel engines]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Bauman*. 2012;10(10):74-81. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2012-10-391>

4. Fedchenko I. A., Solovtsova A. S., Luk'yanov A. N. *Osnovnye tendentsii razvitiya rynka biotopliva v mire i Rossii za period 2000–2012 gody: analiticheskiy otchet* OAO «Korporatsii «Razvitie» g. Belgorod. [The main trends in the development of the biofuel market in the world and in Russia for the period 2000–2012: analytic report of JSC «Corporation «Razvitie», Belgorod]. Available at: http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf (accessed 15.04.2020).

5. Ingendo Aksel' (DE), Roter Kristian (DE), Khayze Klaus-Peter (DE). The use of 2,6-DI-TRET-BUTYL HYDROXYTOLUOL to increase oxidative stability during storage: patent Russian Federation no. 2340655. 2008. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2340655>

6. Devyanin S. N., Ulyukina E. A., Pulyaev N. N. *Issledovanie stabil'nosti biotopliva na osnove rastitel'nykh masel*. [A stability study of biofuels from vegetable oils]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2012;(5 (56)):19-21. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20258746>

7. Dorzhiev A. A., Kayzer O. A. *Ekologichnost' dizeley pri ispol'zovanii biotopliva na osnove rapsovoogo masla*. [Environmentally friendly diesel engines in the use of biofuel based on rapeseed oil]. *Problemy sovremennoy agrarnoy nauki: sb. mat-lov Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchn. konf.* [Problems of modern agricultural science : Collection of proceedings of the International correspondence scientific conference]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy GAU, 2017. pp. 37-39. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30697077>

8. Varnakov V. V., Varnakov D. V., Platonov A. V. Device for operational quality control of biofuel: patent Russian Federation no. 2471186. 2012.

URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2471186&TypeFile=html

9. Varnakov V. V., Varnakov D. V., Platonov A. V., Varnakova E. A. Control device for low-temperature properties of diesel and biodiesel fuels with a heating system: patent for utility model: Russian Federation no. 147779. 2014. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&rn=3339&DocNumber=147779&TypeFile=html

10. Varnakov V. V., Varnakov D. V., Platonov A. V. *Sposob i sistema otsenki stabil'nosti kachestva biotopliva dlya dizel'nykh dvigateley*. [Method and system for estimating stability of the quality of biofuels for diesel engines]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal* = The International Scientific Journal. 2013;(3):95–101. (In Russ.).

11. Dale B., Huber D. The Fuel of the Future Is Grassoline. *Scientific American* 2009;(9):26-33.

URL: <https://www.scientificamerican.com/article/the-fuel-of-the-future-is-grassoline>

12. Senthil K. M., Ramesh A., Nagalingam B. Experimental investigations on a jatropha oil methanol dual fuel engine. SAE Technical Paper Series. 2001;0153:1-7. DOI: <https://doi.org/10.4271/2001-01-0153>

13. Izmaylov A. Yu., Didmanidze O. N., Mityagin G. E., Karev A. M. *Resursosberezhenie na avtomobil'nom transporte*. [Resource saving in road transport]. Moscow: OOO «UMTs «Triada», 2016. 84 p.

14. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Varnakova E. A. *Rezultaty is-sledovaniy nizkotemperaturnykh svoystv i tsetanovogo chisla biodizel'nogo topliva*. [Results of studies of low temperature properties and cetane number of bio-diesel]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2016;(2(34)):168-173. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26367447>

Сведения об авторах

✉ **Варнаков Дмитрий Валерьевич**, доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», ул. Льва Толстого, д. 42, г. Ульяновск, Российская Федерация, 432017, e-mail: contact@ulsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7337-974X>, e-mail: varndm@mail.ru

Симачков Сергей Александрович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина (национальный исследовательский университет)», пр-кт Ленинский, д. 65, корпус 1, г. Москва, Российская Федерация, 119991, e-mail: com@gubkin.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7098-758X>, e-mail: simahkov1969@mail.ru

Варнаков Валерий Валентинович, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», ул. Льва Толстого, д. 42, г. Ульяновск, Российская Федерация, 432017, e-mail: contact@ulsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1320-9466>, e-mail: varnval@mail.ru

Information about the authors

✉ **Dmitry V. Varnakov**, DSc. of Technical science, associate professor, professor at the Department of Technosphere Safety, Ulyanovsk State University, Lev Tolstoy Str., 42, Ulyanovsk, Russian Federation, 432017, e-mail: contact@ulsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7337-974X>, e-mail: varndm@mail.ru

Sergey A. Simachkov, senior lecturer, I. M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Leninsky Prospect, 65, Building 1, Moscow, Russian Federation, 119991, e-mail: com@gubkin.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7098-758X>, e-mail: simahkov1969@mail.ru

Valery V. Varnakov, DSc. of Technical science, professor, Head of the Department of Technosphere Safety, Ulyanovsk State University, Lev Tolstoy Str., 42, Ulyanovsk, Russian Federation, 432017, e-mail: contact@ulsu.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1320-9466>, e-mail: varnval@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева

© 2020. В. А. Сысуев, С. Л. Дёмшин[✉], Д. А. Черемисинов, М. С. Доронин
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Повышение эффективности прямого полосного посева семян трав сеялками с активными бороздовскрывателями возможно при выносе семя- и тукозаделывающих рабочих органов из зоны работы дисковых фрез. Предложена конструктивно-технологическая схема сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева, которая состоит из фрезерного бороздовскрывателя, тукового и семенного сошников, установленных на поводках крепления в виде прицепов пружин кручения, и прикатывающего катка. Для обеспечения высокого качества разноразмерного высева семян трав и гранул минеральных удобрений необходимо на стадии проектирования определить длину щёк тукового сошника, которые сдерживают преждевременное осыпание почвы со стенок борозды до момента, когда гранулы минеральных удобрений попадут на дно борозды, и минимально допустимое расстояние между туковым и семенным сошниками, позволяющее добиться полного укрытия гранул минеральных удобрений почвой при сохранении компактности конструкции сошниковой группы. В ходе теоретических исследований получены математические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы разработанной сошниковой группы, которые позволят обеспечить минимальный разброс гранул минеральных удобрений по глубине заделки и высокую стабильность толщины прослойки почвы между гранулами удобрений и семенами трав. Для диапазона рабочих скоростей дернинной сеялки полосного посева определены рациональные параметры сошниковой группы предложенной конструкции: угол при вершине наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости 15-20°, длина щеки тукового сошника 0,040-0,045 м, ширина раструба тукового сошника 0,02 м, минимально допустимое расстояние между туковым и семенным сошниками 0,14-0,16 м.

Ключевые слова: прямой посев в дернину, минеральные удобрения, дисковая фреза, туковый сошник, семенной сошник, каток прикатывающий, механизм подвеса сошников, пружина кручения

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0094).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сысуев В. А., Демшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):321-331. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>

Поступила: 26.02.2020

Принята к публикации: 28.05.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Theoretical justification of the main parameters of the coulter group of the sod seeder for strip sowing

© 2020. Vasily A. Sysuev, Sergey L. Demshin[✉], Dmitriy A. Cheremisinov, Maxim S. Doronin

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

Increasing the efficiency of direct strip sowing of grass seeds by means of seeders with active furrow openers is possible when seed and fertilizer working bodies are removed from the zone of operation of disk milling cutters. A structural and technological scheme of the coulter group of the sod seeder for strip sowing is proposed, which consists of a milling furrow opener, fertilizer and seed coulters mounted on leashes in the form of torsion spring trailers, and a rolling roller. To ensure high quality multilevel sowing of grass seeds and granules of mineral fertilizers, it is necessary at the design stage to determine the length of the fertilizer coulter sides, which prevent premature shedding of soil from the furrow walls until the mineral fertilizer granules reach the bottom of the furrow, and the minimum allowable distance between the fertilizer and seed coulters, which allows to cover the granules of mineral fertilizers with soil completely while maintaining the compact design of the coulter group. In the course of theoretical research, mathematical dependences were obtained to determine the rational parameters and operating modes of the coulter group of the proposed design, which will ensure a minimum spread of mineral fertilizer granules over the depth of incorporation and a high stability of the soil layer thickness between mineral fertilizer granules and grass seeds. Rational parameters of the coulter group of the proposed design are determined for the range of operating speeds of the sod seeder for strip sowing: angle at the apex of the shank fertilizer coulter in the horizontal plane is 15-20°, the length of the fertilizer coulter sides is 0.040-0.045 m, the width of the fertilizer coulter bell is 0.02 m, minimum permissible distance between the fertilizer and seed coulters is 0.14-0.16 m.

Keywords: direct sowing in the sod, mineral fertilizer, disc milling cutter, fertilizer coulter, seed coulter, packing roller, suspension mechanism of coulter, torsion spring

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 № 0528-2019-0094).

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

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

For citation: Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D.A., Doronin M. S. Theoretical justification of the main parameters of the coulter group of the sod seeder for strip sowing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):321-331. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>

Received: 26.02.2020

Accepted for publication: 28.05.2020

Published online: 23.06.2020

Большинство технологий улучшения природных кормовых угодий основано на совокупности химического подавления растений существующей экосистемы гербицидами с последующим механическим нарезанием узких бороздок в дернине и посевом в них семян трав специальными сеялками или комбинированными агрегатами [1, 2, 3]. Развитие экологического земледелия обусловило более широкое распространение технологий повышения продуктивности естественных кормовых угодий, заключающихся в полосном посеве трав с механической обработкой в дернине полос, размеры которых обеспечивают успешное развитие всходов без применения химических препаратов [4, 5, 6, 7]. Особое место в создании стартовых условий для прорастания и дальнейшей вегетации растений, наряду с качественной обработкой почвы, занимает повышение равномерности заделки семян и удобрений в почву, что обеспечивает равный доступ высеванных семян к основным факторам роста [8]. Вследствие чего совершенствование семя- и тукозаделывающих рабочих органов комбинированных агрегатов и сеялок прямого посева является актуальной задачей.

Качество заделки семян в почву во многом определяет работа сошниковой группы почвообрабатывающе-посевных агрегатов, разработка которых в навесном варианте предъявляет также особые требования к её компактности и металлоёмкости. Многочисленные исследования почвообрабатывающих и семязаделывающих рабочих органов показали преимущество их установки на упругих стойках или применение для этого подпружиненных механизмов подвеса [9, 10, 11, 12]. Предложена конструкция универсальной сошниковой группы для почвообрабатывающе-посевных агрегатов, почвообрабатывающая часть которых обеспечивает высокое качество предпосевной обработки почвы [13, 14].

В этом случае сформированная в процессе обработки почвы выровненная, мелкокомковатая поверхность поля позволила применить в качестве поводков сошников прицепы пружин кручения. Совмещение функций крепления, защиты и копирования рельефа в одном конструктивном элементе – пружине кручения при однорядной установке килевидных сошников обеспечивает компактность и низкую металлоёмкость сошниковой группы. В перспективе данная сошниковая группа может использоваться как в условиях полосного посева семян трав в стерню или дернину сеялками семейства СДК, так и при рядовом посеве почвообрабатывающе-посевными агрегатами.

Цель исследования – теоретическое определение оптимальных параметров сошниковой группы сеялки для полосного посева в дернину семян трав с внесением стартовой дозы минеральных удобрений.

Материал и методы. Теоретические исследования по определению основных параметров сошниковой группы сеялки для прямого посева семян трав в дернину выполнены на основе известных положений теории деформации почвы клином¹ и бороздообразования².

Результаты и их обсуждение. Анализ ранее проведенных исследований выявил, что повышение до определенного уровня массы сошника, установленного на пружинном подвесе, положительно влияет на устойчивость его хода по глубине. Учитывая, что для благоприятного развития всходов рекомендуется разноуровневый высев семян и гранул минеральных удобрений, предложена конструкция сошниковой группы на базе килевидного сошника. Для повышения эффективности процесса прямого полосного посева в дернину семян трав сеялками СДК предложено вынести из зоны работы дисковых фрез семя- и тукозаделывающие рабочие органы и объединить туковый и семенной сошники в единую группу.

¹Синекоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.

²Бузенков Г. М., Ма С. А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. М.: Машиностроение, 1976. 284 с.

Вывод сошниковой группы из-под защитного кожуха фрезерного бороздовскрывателя сеялки (рис. 1, б) позволит уменьшить залипание подкожухового пространства почвой, что особенно актуально в условиях повышенной влажности, и исключит влияние на сошники колебаний кожуха от ударов комков почвы, снижающее равномерность глубины высева гранул минеральных удобрений и семян. С учётом предложенной конструкции сошниковой группы разработан способ полосного посева, который включает предпосевную полосную обработку дернины дисковыми фрезами, выравнивание почвы, внесение минеральных удобрений и посев семян на уплотнённое посевное ложе по оси обработанной полосы на 1-2 см выше глубины внесения

удобрений (рис. 1, а). В этом случае на поводках крепления сошниковой группы в виде прицепов пружин кручения устанавливается сдвоенный сошник для туков и семян трав. При движении в профрезерованной полосе почвы туковый сошник создает бороздку, в которую высеваются минеральные удобрения, после его прохода стенки борозды осыпаются и закрывают удобрения, обеспечивая тем самым оптимальную прослойку почвы между минеральными удобрениями и семенами. В дальнейшем по этой же строчке посева идет семенной сошник, наральник которого осуществляет уплотнение слоя почвы над гранулами минеральных удобрений. В образовавшуюся борозду высеваются семена трав. Уплотнение почвы осуществляется прикатывающим катком.

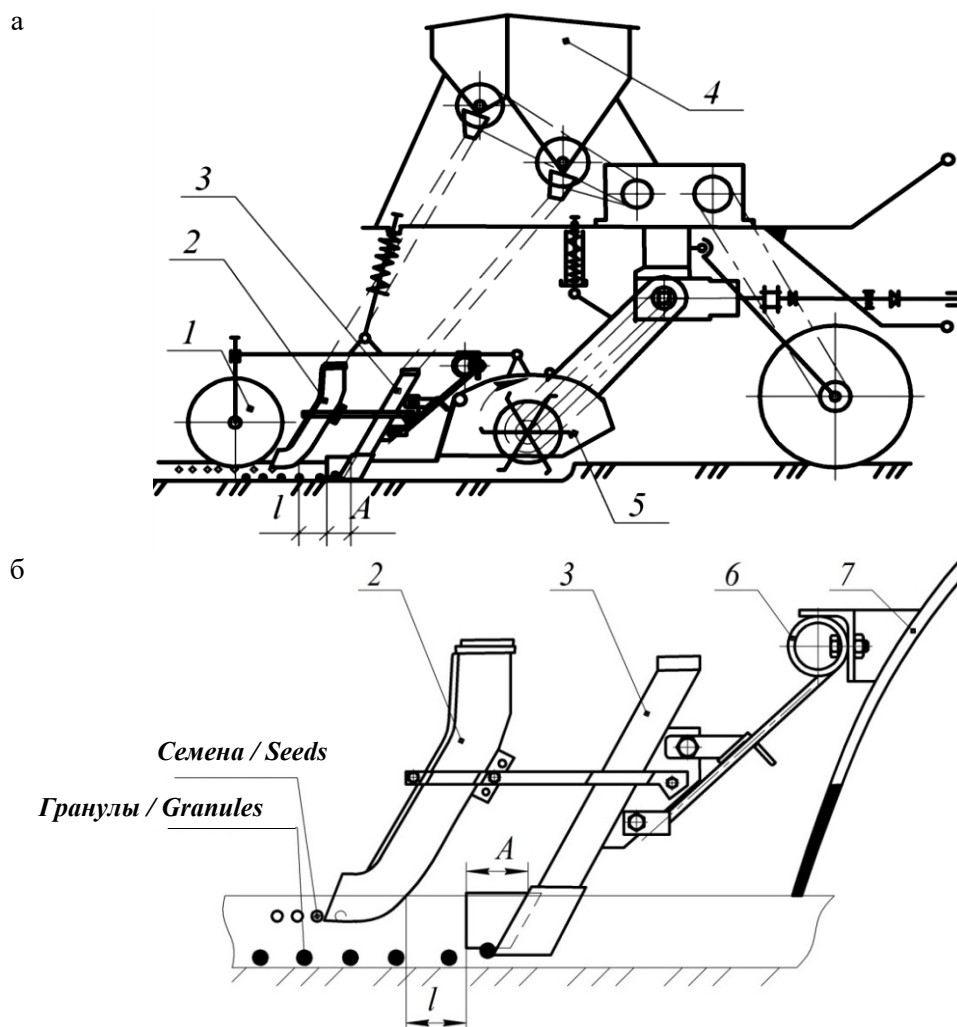


Рис. 1. Технологическая схема дернинной сеялки полосного посева (а) и её сошниковой группы (б): 1 – прикатывающий каток; 2 – семенной сошник; 3 – туковый сошник; 4 – зернотуковый ящик; 5 – фрезерный бороздовскрыватель; 6 – механизм подвеса сошниковой группы; 7 – защитный кожух /
Fig. 1. The technological scheme of the sod seeder of strip sowing (а) and its coulter group (б): 1 – packing roller; 2 – seed coulter; 3 – fertilizer coulter; 4 – hopper for seeds and fertilizers; 5 – disc milling cutter; 6 – suspension mechanism of coulter group; 7 – protective casing

Одним из основных показателей качества посева является стабильность глубины заделки минеральных удобрений и семян, а также величины прослойки почвы между ними [15, 16]. Для минимального разброса гранул минеральных удобрений по глубине заделки необходимо, чтобы при их падении из тукового сошника в образовавшуюся борозду они успели переместиться на дно борозды [17, 18]. В связи с этим необходимо определить оптимальную длину щёк A , м, тукового сошника, задерживающих осыпание почвы со стенок борозды, которой первоначально заделываются высеянные гранулы. Для обеспечения оптимальной величины прослойки почвы между гранулами минеральных удобрений и семенами необходимо найти минимально допустимое расстояние l , м, между туковым и семенным сошниками, которое позволяет достичь полного укрытия гранул почвой, осыпавшейся со стенок борозды.

При определении вышеперечисленных параметров сошниковой группы выполнены теоретические исследования на основе известных положений теории бороздообразования с учётом следующих допущений:

- сошник перемещается равномерно и прямолинейно, т. е. $V_c = \text{const}$;
- почва после прохода дисковой фрезы имеет однородную мелкокомковатую структуру, что позволяет рассматривать её как сыпучую среду.

Для определения длины щёк A тукового сошника изучено движение гранул удобрений по стенкам борозды. Так как профиль борозды образован двумя наклонными плоскостями, то рассмотрим «граничный случай» падения частицы удобрений в верхнюю точку стенки борозды. Для получения минимального разброса по глубине заделки длина A боковых стенок должна быть такой, чтобы гранулы, упавшие в борозду, успели скатиться на дно до того момента, пока их не закрыло осыпавшейся со стенок борозды землей. Рассмотрим движение гранулы удобрений по стенке борозды и определим время, за которое она достигнет дна борозды (рис. 2). Гранула при попадании на стенку борозды имеет скорость V_{Π} падения. При этом на неё действуют силы тяжести mg , трения $mg \cdot \tan \varphi$ и реакции N почвы. Составим уравнение движения гранулы по стенке борозды в осях координат $\tau - N$:

$$m \frac{d^2 \tau}{dt^2} = mg \cdot \cos \gamma - mg \cdot \sin \gamma \cdot \tan \varphi. \quad (1)$$

Решение дифференциального уравнения (1) имеет вид:

$$V_{\tau} = g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \tan \varphi) \cdot t + C_1, \quad (2)$$

где γ – угол при вершине наральника тукового сошника, град, C_1 – постоянная интегрирования, t – время скольжения гранулы по стенке борозды, с, φ – угол трения частиц почвы о боковую грань сошника, град.

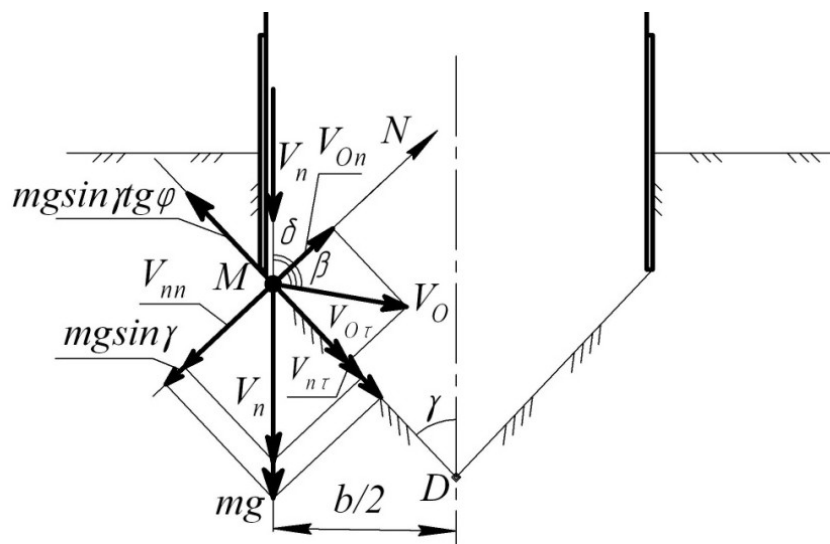


Рис. 2. Расчетная схема движения гранулы минеральных удобрений по стенке борозды /
Fig. 2. Calculation scheme of the movement of granules of mineral fertilizers along the furrow wall

При этом надо учитывать характер движения гранулы по стенке борозды, который во многом определяет форма поперечного профиля борозды, напрямую зависящая от

величины угла γ при вершине наральника сошника в вертикально-поперечной плоскости. Имеют место два вида движения гранул в борозде: с отражением от стенки борозды

и со скольжением по ней. При проектировании компактной сошниковой группы для прямого посева в профрезерованную полосу почвы наиболее приемлем второй вариант. В этом случае для полного устранения отскокивания необходимо, чтобы сила восстановления удара не превышала составляющей веса гранулы на нормаль N или её нормальное ускорение равнялось $a_{\Pi} \leq g \cdot \sin \gamma$. Тогда, в момент падения гранулы удобрений на стенку борозды при $t = 0$ её начальная скорость равняется $V_t = V_{\Pi} \cdot \sin \delta$, и уравнение скорости движения гранулы по стенке борозды с учетом начальных условий можно выразить следующим выражением:

$$V_t = g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot t + V_{\Pi} \cdot \sin \delta, \quad (3)$$

где δ – угол падения гранулы, град.

Анализ уравнения (3) показывает, что скорость движения гранулы по стенке борозды зависит от первоначальной скорости V_{Π} падения, коэффициента $\operatorname{tg} \varphi$ трения гранулы минеральных удобрений о почву, а также от значений угла γ при вершине сошника в вертикально-поперечной плоскости, который определяет формирование поперечного профиля борозды, и угла падения δ гранулы.

Проинтегрировав уравнение (3) относительно времени t , найдем уравнение движения частицы по наклонной поверхности стенки борозды:

$$\tau = \frac{g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{2} \cdot t^2 + V_{\Pi} \cdot \sin \delta \cdot t + C_2. \quad (4)$$

Начальные условия для C_2 имеют вид: при $t = 0$ с, $\tau_{t=0} = 0$ м.

Окончательное уравнение движения гранулы по наклонной стенке борозды с учетом начальных условий выразится:

$$\tau = g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi) \frac{t^2}{2} + V_{\Pi} \cdot \sin \delta \cdot t. \quad (5)$$

В то же время расстояние, пройденное гранулой до момента сползания её на дно борозды по истечении времени t , можно определить

$$\tau_t = \frac{b}{2 \sin \gamma}, \quad (6)$$

где b – ширина раструба сошника, м.

Для определения длины щеки A сошника рассчитаем время t движения гранулы по плоскости стенки борозды, за которое она достигнет дна, используя выражения (5) и (6):

$$\frac{g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{2} \cdot t^2 + V_{\Pi} \cdot \sin \delta \cdot t - \frac{b}{2 \sin \gamma} = 0. \quad (7)$$

Решая степенное уравнение второго порядка (7), можно определить время t , необходимое для перемещения гранулы на дно

борозды. В этом случае расчётная длина щёк тукового сошника определится:

$$A = V_c \cdot t. \quad (8)$$

При нахождении минимально допустимого расстояния l между туковым и семенным сошниками для создания прослойки почвы между минеральными удобрениями и семенами, исходя из условия полного укрытия гранул минеральных удобрений почвой, осыпающейся со стенок борозды, определим относительную скорость движения частиц почвы, граничащих с боковыми гранями тукового сошника. При движении килевидного тукового сошника, имеющего в продольно-горизонтальной плоскости форму прямого плоского клина, на частицу почвы, соприкасающейся с боковой гранью сошника в точке O , действуют силы (рис. 3): P_x – боковое давление сыпучего материала; $F_{\text{тр}}$ – сила трения частиц почвы по наральнику сошника; $F_{\text{ин}}$ – сила динамического давления, обусловленная инерцией почвы, отбрасываемой в стороны боковой гранью сошника и направленная противоположно абсолютной скорости V движения частиц почвы, отбрасываемых боковой гранью наральника.

Разложим силу N на составляющие P_{xv} и P_{xt} , действующие по направлению скорости V_c движения сошника и по его рабочей поверхности. Частица почвы будет скользить по поверхности клина под действием силы:

$$P_{xt} > F_{\text{тр}} + F_{\text{инт}}. \quad (9)$$

Сила динамического давления почвы $F_{\text{ин}}$ на боковую грань сошника определяется выражением³:

$$F_{\text{ин}} = \frac{2m}{s} \cdot V_c^2 \cdot \sin \frac{\Delta}{2}, \quad (10)$$

где m – масса почвы, отбрасываемая боковой гранью сошника, кг, Δ – угол при вершине наральника тукового сошника, град.

Дифференциальное уравнение движения частицы почвы по наклонной грани сошника примет вид:

$$\frac{md^2x}{dt^2} = \frac{mg}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{mg}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{2 \cdot m \cdot V_c^2}{s} \cdot \sin \frac{\Delta}{2}, \quad (11)$$

где $\frac{mg}{2 \operatorname{tg} \alpha} = P_x$ – усилие со стороны почвы на боковую грань сошника, Н; V_c – поступательная скорость сошника, м/с; α – угол укладки частиц, град, β_1 – угол между направлением скорости сошника и нормалью, град.

³Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. 1977. 328 с.

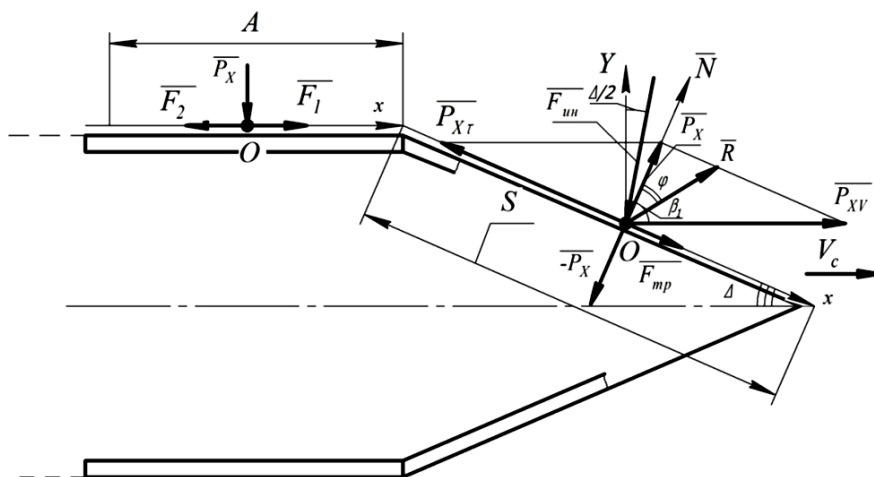


Рис. 3. Расчетная схема перемещения почвы по граням наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости /

Fig. 3. Calculation scheme of soil movement along the verges of the shank fertilizer coulter in the horizontal plane

Интегрируя выражение (11), найдем уравнение скорости движения почвенных частиц по наклонной поверхности наральника сошника с учётом того, что время движения частиц по наклонной грани наральника тукового сошника составляет $t = S \cdot \cos \Delta / V_c$:

$$V_x = \frac{g \cdot S \cdot \cos \Delta}{2 \cdot tg \alpha \cdot V_c} (tg \beta - tg \varphi) - 2V_c \cdot \cos \Delta \cdot \sin \frac{\Delta}{2}. \quad (12)$$

После того, как частица почвы достигнет точки перехода на боковой грани наральника, она начнет двигаться вдоль щёк сошника (рис. 3), где на неё действуют силы F_1 – сила трения между почвенными частицами и боковой гранью сошника, увлекающая в сторону скорости сошника V_c , и сила трения F_2 – между почвенными частицами. Уравнение движения частицы по щеке тукового сошника после интегрирования имеет вид (ось OX в этом случае направлена вдоль щёк сошника):

$$V_x = \frac{gt}{2t g \alpha} [tg\varphi - tg\varphi_1] + C_1, \quad (13)$$

где φ_1 – угол трения между почвенными частицами, град.

При начальных условиях $t = 0$ скорость частиц почвы при попадании на боковую грань сошника рассчитывается согласно уравнению (13):

$$V_x = \frac{gt}{2tg\alpha} [tg\varphi - tg\varphi_1] + \frac{g \cdot S \cos \Delta}{2tg\alpha \cdot V_c} (tg\beta - tg\varphi) - 2V_c \cdot \cos \Delta \cdot \sin \frac{\Delta}{2}. \quad (14)$$

Уравнение (14) позволяет определить скорость почвенных частиц при схождении с грани тукового сошника. Её величина зависит от поступательной скорости V_c сошника и его геометрических параметров: угла Δ при вершине наральника и длины S наклонной поверхности наральника.

После прохода сошника идёт осыпание граничного с боковыми стенками сошника слоя почвы под действием силы тяжести. Время t_1 закрытия борозды после прохода тукового сошника равно:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (15)$$

где h – глубина хода тукового сошника, м.

Вследствие небольшой ширины раструба тукового сошника принято, что падение граничного с боковыми стенками слоя почвы обеспечит закрытие борозды с гранулами минеральных удобрений. При этом расстояние, проходимое частицей почвы при осыпании, составит $B = V_{x0} \cdot t_1$, а величина пути, проходимого сошниковой группой сеялки, за это время равна $B_1 = V_c \cdot t_1$. Тогда, значение минимально допустимого расстояния l между сошниками, исходя из условия полного укрытия гранул минеральных удобрений почвой, можно определить из выражения:

$$l = t_1 \cdot (V_c - V_{x0}). \quad (16)$$

С учётом формул (14) и (15) выражение для определения минимального расстояния между туковым и семенным сошниками примет вид:

$$l = \sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot (V_c - \frac{g \cdot t}{2t g \alpha} (tg \varphi - tg \varphi_1) - \frac{g \cdot S \cdot \cos \Delta}{2t g \alpha \cdot V_c} (tg \beta - tg \varphi) + 2V_c \cdot \cos \Delta \cdot \sin \frac{\Delta}{2}). \quad (17)$$

Таким образом, длина щеки A тукового сошника определяется из условия гарантированного перемещения гранул минеральных удобрений на дно борозды до того момента, пока их не закроет почвой, осыпавшейся со стенок борозды. Следующим этапом расчёта является нахождение минимально допустимого расстояния l между туковым и семенным сошниками, определяемое из условия полного закрытия борозды, оставленной туковым сошником. Варьируя значениями других параметров тукового сошника, такими как угол γ при вершине наральника сошника в вертикально-поперечной плоскости и ширина раструба b сошника, а также технологическими параметрами процесса посева, можно найти рациональные значения рассматриваемых параметров применительно к условиям работы сошниковой группы и характеристикам высеваемых материалов.

Для изучения влияния основных параметров и режимов работы сошниковой группы на длину щеки A тукового сошника построены графические решения уравнения (8), которые рассчитаны при следующих значениях $\varphi = 30^\circ$, $\gamma = 20^\circ$, $\delta = 45^\circ$ для двух значений скорости V_{II} падения гранулы: 1,6 и 4,4 м/с, которые соответствуют её свободному падению с высоты h_{II} , равной 0,125 и 1,0 м (рис. 4). Анализ уравнений (7) и (8) показал, что на время скольжения гранул удобрений по наклонной стенке борозды, сделанной наральником тукового сошника, влияют такие параметры рабочего процесса посева, как скорость V_{II} падения гранул, угол δ падения, а также геометрические параметры сошника: угол γ при вершине наральника в вертикально-поперечной плоскости и ширина раструба b сошника. Величина угла $\gamma = 20^\circ$ выбрана из условия полного удержания отражения гранул от стенки борозды.

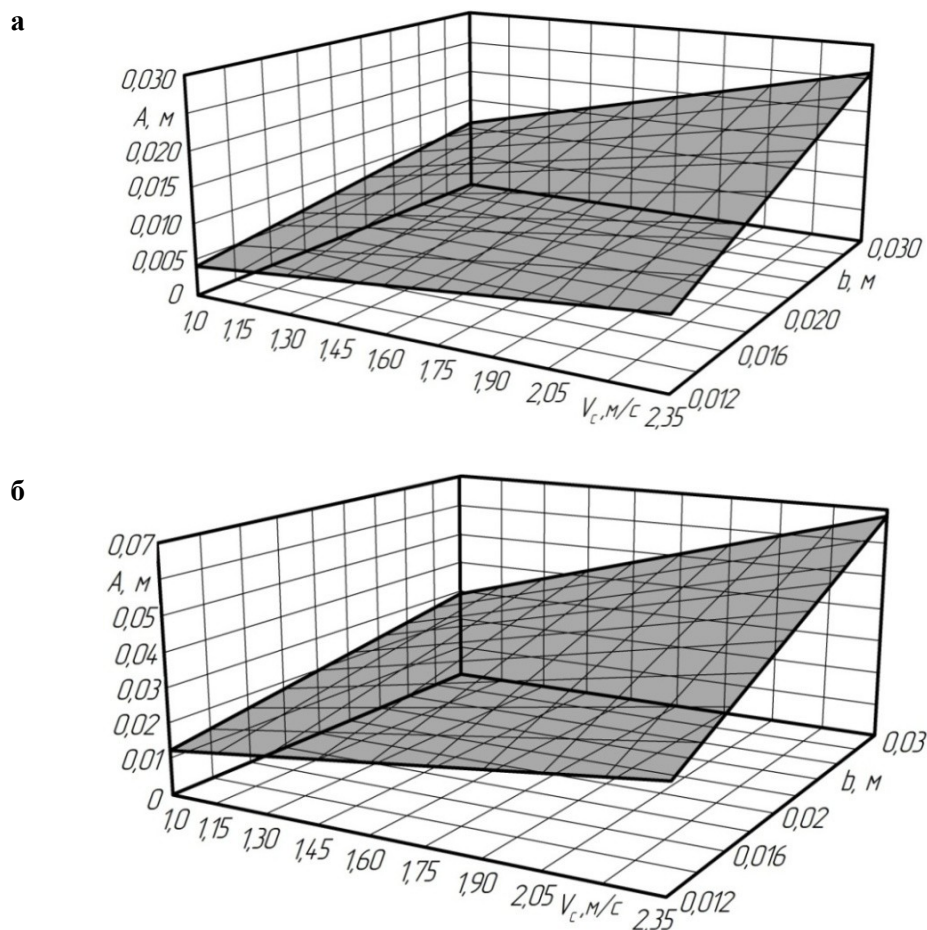


Рис. 4. Влияние скорости V_C (м/с) и ширины b (м) раструба на длину A (м) щёк тукового сошника при скорости падения гранулы минеральных удобрений: а) $V_{II} = 1,6$ м/с; б) $V_{II} = 4,4$ м/с /

Fig. 4. Influence of the speed V_C (m/s) and the width b (m) of the coulter bell on the length A (m) of the fertilizer coulter sides at the speed of falling of the granules of mineral fertilizers: а) $V_{II} = 1,6$ m/s; б) $V_{II} = 4,4$ m/s

Анализ графиков (рис. 4) выявил, что повышение ширины b раструба тукового сошника и его поступательной скорости V_C , независимо от начальной скорости V_H падения гранулы, обуславливают увеличение необходимой длины A щёк сошника. Так, изменение ширины b раструба сошника с 0,01 до 0,03 м при фиксированной скорости $V_C = 2,0$ м/с требует удлинения щёк A сошника с 0,008 до 0,023 м в случае падения гранулы с высоты $h_H = 1,0$ м ($V_H = 4,4$ м/с) и с 0,022 до 0,058 м при $h_H = 0,125$ м ($V_H = 1,6$ м/с) для гарантированного выполнения условия размещения гранул минеральных удобрений на дне борозды до осыпания почвы с её стенок. Увеличение угла γ при вершине наральника, обуславливающее форму поперечного сечения борозды, более 20° , а также высоты падения h_H гранулы, определяющей её потенциальную энергию, может изменить характер движения гранул по стенкам борозды, перейдя от скольжения до многократного отражения их от стенок, при котором значительно возрастёт время t , необходимое для перемещения гранул на дно борозды. Соответственно это повлечёт увеличение длины конструкции тукового сошника и сошниковой группы в целом, что является нецелесообразным.

Для минимизации разброса гранул минеральных удобрений по глубине заделки необходимо ограничить их высоту свободного падения и обеспечить формирование нижней части борозды с небольшим углом раствора, что позволит использовать максимально компактную конструкцию тукового сошника.

При соблюдении оптимального характера движения гранул по стенкам борозды для дернинной сеялки полосного посева в диапазоне рабочих скоростей до 2,0 м/с рациональными параметрами тукового сошника являются угол при вершине наральника в вертикально-поперечной плоскости $\gamma = 20^\circ$, ширина раструба сошника $b = 0,02$ м, что обуславливает расчётную длину щеки сошника $A = 0,040-0,045$ м.

С целью выявления зависимости между значением минимально допустимого расстояния l между туковым и семенным сошниками и конструктивно-технологическими параметрами сошниковой группы решение уравнения (17) графически проиллюстрировано на рисунке 5 при следующих значениях переменных, соответствующих условиям посева на средне-суглинистых дерново-подзолистых почвах: $\alpha = 25^\circ$; $\varphi = 30^\circ$; $\varphi_1 = 35^\circ$; $\beta = 65^\circ$; $h = 0,03$ м; $t = 0,02$ с; $S = 0,03$ м. Выявлено, что с ростом поступательной скорости V_C сошниковой группы и увеличением угла Δ при вершине наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости расстояние, необходимое для полного закрытия минеральных удобрений, увеличивается. Это объясняется тем, что относительная скорость почвенных частиц V_X , граничащих с гранями наральника, возрастает. Так, повышение скорости сошника с 1,0 до 2,2 м/с при фиксированном значении угла $\Delta = 20^\circ$ приводит к увеличению расстояния между сошниками l с 0,06 до 0,26 м. Изменение величины угла Δ обуславливает изменения аналогичного характера, но выражено менее значимо.

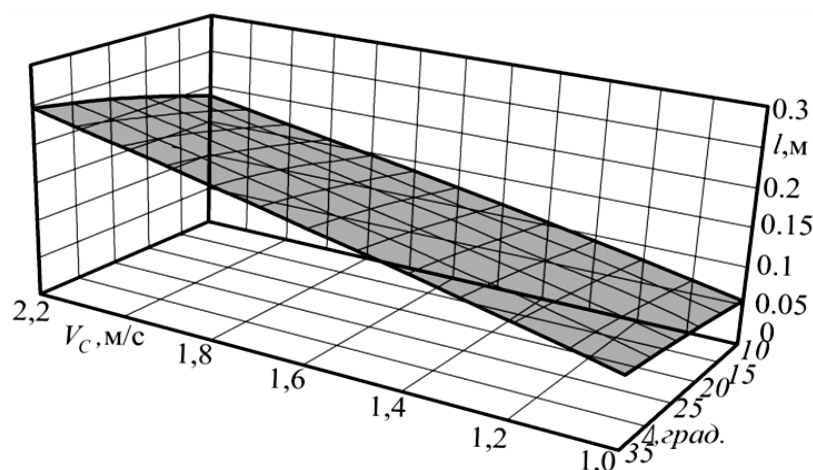


Рис. 5. Влияние скорости V_C (м/с) сошника и угла Δ (град) при вершине наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости на минимально допустимое расстояние l (м) между туковым и семенным сошниками /

Fig. 5. Influence of the coulter speed V_C (m/s) and the angle Δ (deg) at the apex of the shank fertilizer coulter in the horizontal plane by the minimum permissible distance l (m) between the fertilizer and seed coulters

Анализ выражения (17) также показал, что увеличение длины S наклонной стенки наральника несколько снижает необходимую дистанцию между сошниками, так согласно расчётам при поступательной скорости сошника $V_c = 2,2$ м/с её удлинение с 0,01 до 0,03 м уменьшило величину допустимого расстояния l на 5-12 %.

Для повышения компактности конструкции сошниковой группы при сохранении высокой стабильности величины прослойки почвы между высеваемыми гранулами минеральных удобрений и семенами необходимо использовать туковый сошник с минимально допустимой шириной наральника. В этом случае в диапазоне рабочих скоростей дернинной сеялки полосного посева до 2,0 м/с рациональными параметрами сошниковой группы являются: угол при вершине наральника тукового сошника в поперечно-горизонтальной плоскости $\Delta = 15-20^\circ$; длина наклонной стенки наральника $S = 0,03$ м; расстояние между сошниками $l = 0,14-0,16$ м.

Выводы. Теоретически обоснована конструктивно-технологическая схема сошниковой группы дернинной сеялки, состоящей из тукового и семенного сошников, которые установлены на поводках крепления в виде прицепов пружин кручения. Получены математические зависимости, позволяющие вычислить параметры и режимы работы сошниковой группы, обеспечивающие минимальный разброс гранул минеральных удобрений по глубине заделки и стабильность величины прослойки почвы между гранулами минеральных удобрений и семенами. Для диапазона рабочих скоростей дернинной сеялки полосного посева рассчитаны рациональные параметры сошниковой группы: угол при вершине наральника тукового сошника в поперечно-горизонтальной плоскости $\Delta = 15-20^\circ$, длина щеки тукового сошника $A = 0,040-0,045$ м, ширина раструба тукового сошника $b = 0,02$ м, расстояние между туковым и семенным сошниками $l = 0,14-0,16$ м.

Список литературы

1. Зотов А. А., Косолапов В. М., Кобзин А. Г., Трофимов И. А., Уланов А. Н., Шевцов А. В., Шельменкина Х. Х., Щукин Н. Н. Сенокосы и пастбища на осушаемых землях Нечерноземья. Москва-Астана: ИП «Изотова К. У.», 2012. 1198 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&>
2. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-a1298e.pdf>
3. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses [Электронный ресурс]. URL: <http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf> (дата обращения: 22.01.2020).
4. Рекомендации по улучшению лугов и пастбищ в Северо-Восточном регионе Европейской части России. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 116 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>
5. Дерепаскин А. И., Полищук Ю. В., Бинюков Ю. В. Полосной подсев в технологии поверхностного улучшения старовозрастных многолетних трав с использованием орудия ОПП-6. Тракторы и сельхозмашины. 2014;(8):3-4.
6. Курбанов Р. Ф., Созонтов А. В. Эффективность технологии многокомпонентного полосного посева многолетних трав в дернину. Пермский аграрный вестник. 2017;(3 (19)):40-44. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
7. Лазарев Н. Н., Еремин В. В., Виноградов Е. С. Улучшение старосеяных сенокосов подсевом в дернину многолетних бобовых и злаковых трав. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2008;(3):64-71. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-staroseyanyh-senokosov-podsevom-v-derninu-mnogoletnih-bobovyh-i-zlakovyh-trav/viewer>
8. Ларюшин Н. П., Шумаев В. В., Бучма А. В. Технология и средство механизации посева сельскохозяйственных культур комбинированным сошником разноуровневого внесения удобрений и распределения семян. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 181 с.
9. Мазитов Н. К. Ресурсосберегающие почвообрабатывающие машины. Казань: Полиграфическо-издательский комбинат, 2003. 456 с.
10. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Повышение качества полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5 (60)):63-68. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008779>
11. Бодалев А. П., Иванов А. Г., Костин А. В., Шкляев К. Л., Шкляев А. Л., Дерюшев И. А. Взаимодействие пружинных рабочих органов тяжелых зубовых борон с почвой. Вестник НГИЭИ. 2020;(1 (104)):16-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41863683>

12. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальных режимов работы культиваторных лап на виброударной подвеске. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;(3):69-73. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/135/135>
13. Дёмшин С. Л., Андреев В. Л., Козлова Л. М., Владимиров Е. А., Черемисинов Д. А., Носкова Е. Н. Способ обработки почвы и посева и устройство для его осуществления: пат. №2436271 Российская Федерация. №2009149141/21: заявл. 28.12.2009; опубл. 20.12.2011. Бюл. №35. 13 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37758000>
14. Сысуюев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления: пат. №2641073 Российская Федерация. №2016108377: заяв. 09.03.2016, опубл. 15.01.2018. Бюл. №2. 11 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
15. Пяскорский Д. С., Корнеев Е. А., Кем А. А., Демчук Е. В. Сошник для двухстрочного посева с разноразмерным внесением удобрений. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2017;(1 (8)). Режим доступа: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306>
16. Хаджиев А. Х., Темиров С. У., Йулдашев О. К., Курамбоев Б. Р. Обоснование параметров усовершенствованного сошника для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019;(4):54-57. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-54-57>
17. Шевченко А. П., Бегунов М. А., Коваль В. С. Теоретические исследования процесса посева семян льна-долгунца. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017;(3 (27)):187-196. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30467986>
18. Аванькина А. С., Голубев В. В., Фирсов А. С. Исследование взаимодействия комбинированного сошника с почвой. *Вестник НГИЭИ*. 2017;(3 (70)):15-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830>

References

1. Zotov A. A., Kosolapov V. M., Kobzin A. G., Trofimov I. A., Ulanov A. N., Shevtsov A. V., Shel'menkina Kh. Kh., Shchukin N. N. *Senokosy i pastbishcha na osushaemykh zemlyakh Nechernozem'ya*. [Hayfields and pastures on the drained lands of the Non-Chernozem region]. Moscow-Astana: IP «Izotova K. U.», 2012. 1198 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&>
2. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-a1298e.pdf>
3. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses Available at: <http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf> (accessed: 22.01.2020).
4. *Rekomendatsii po uluchsheniyu lugov i pastbishch v Severo-Vostochnom regione Evropeyskoy chasti Rossii*. [Recommendations for improving of meadows and pastures in North-Eastern region of the European part of Russia]. Moscow: FGUN «Rosinformagrotekh», 2007. 116 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>
5. Derepaskin A. I., Polishchuk Yu. V., Binyukov Yu. V. *Polosnoy podsev v tekhnologii poverkhnostnogo uluchsheniya starovozrastnykh mnogoletnikh trav s ispol'zovaniem orudiya OPP-6*. [Strip oversowing in surface improvement technology of old-growth perennial grasses using the OPP-6 tool]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014;(8):3-4. (In Russ.).
6. Kurbanov R. F., Sozontov A. V. *Effektivnost' tekhnologii mnogokomponentnogo polosnogo poseva mnogoletnikh trav v derninu*. [An efficiency of a technology of multi-component strip sowing of perennial grasses in sod]. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2017;(3 (19)):40-44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
7. Lazarev N. N., Eremin V. V., Vinogradov E. S. *Uluchshenie staroseyanykh senokosov podsevom v derninu mnogoletnikh bobovykh i zlakovykh trav*. [Improvement of old-seeded hayfields by sowing in the sod of perennial legume and cereal grasses]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008;(3):64-71. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-staroseyanyh-senokosov-podsevom-v-derninu-mnogoletnih-bobovykh-i-zlakovykh-trav/viewer>
8. Laryushin N. P., Shumaev V. V., Buchma A. V. *Tekhnologiya i sredstvo mekhanizatsii poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur kombinirovannym soshnikom raznourovnevo vnoseniya udobreniy i raspredeleniya semyan*. [Technology and means of mechanization of sowing crops with a combined opener of different levels of fertilizer application and seed distribution]. Penza: RIO PGSKhA, 2015. 181 p.
9. Mazitov N. K. *Resursosberegayushchie pochvoobrabatyvayushchie mashiny*. [Resource-saving tillage machines]. Kazan': Poligraficheskoe-izdatel'skiy kombinat, 2003. 456 p.
10. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. *Povyshenie kachestva polosnogo poseva semyan trav v derninu*. [Improvement quality of strip sowing of grasses' seeds into a sod]. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(5 (60)):63-68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008779>
11. Bodalev A. P., Ivanov A. G., Kostin A. V., Shklyayev K. L., Shklyayev A. L., Deryushev I. A. *Vzaimodeystvie pruzhinnykh rabochikh organov tyazhelykh zubovykh boron s pochvoy*. [Interaction of spring operat-

ing part of heavy tine harrows with soil]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2020;(1 (104)):16-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41863683>

12. Babitskiy L. F., Sobolevskiy I. V., Kuklin V. A. *Obosnovanie optimal'nykh rezhimov raboty kul'tivatornykh lap na vibroudarnoy podveske*. [Substantiations for the optimal modes of cultivator paws on vibro-impact suspension]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3):69-73. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/135/135>

13. Demshin S. L., Andreev V. L., Kozlova L. M., Vladimirov E. A., Cheremisinov D. A., Noskova E. N. Method of soil treatment and seeding and device for its implementation: pat. RF, no. 2436271, 2011. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37758000>

14. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. Method of seeding grass seeds into sod and seeding machine for its implementation: pat. RF no. 2641073, 2018. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

15. Pyaskorskiy D. S., Korneev E. A., Kem A. A., Demchuk E. V. *Soshnik dlya dvukhstrochnogo poseva s raznourovnevnyim vneseniya udobreniy*. [The Opener for the Two-Line Seeding With Multilevel Fertilizer Application]. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* = Research and Scientific Electronic Journal of Omsk SAU. 2017;(1 (8)). (In Russ.). URL: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306>

16. Khadzhiev A. Kh., Temirov S. U., Yuldashev O. K., Kuramboev B. R. *Obosnovanie parametrov usovershenstvovannogo soshnika dlya vneseniya mineral'nykh i organo-mineral'nykh udobreniy*. [Determination of the Parameters of Improved Coulter for Introducing Mineral and Organic-And-Mineral Fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2019;(4):54-57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-54-57>

17. Shevchenko A. P., Begunov M. A., Koval' V. S. *Teoreticheskie issledovaniya protsessa poseva semyan l'na-dolguntsa*. [Theoretical investigations of the flax seeds sowing]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017;(3 (27)):187-196. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30467986>

18. Avan'kina A. S., Golubev V. V., Firsov A. S. *Issledovanie vzaimodeystviya kombinirovannogo soshnika s pochvoy*. [Study of the interaction of combined openers with soil]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2017;(3 (70)):15-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830>

Сведения об авторах:

Сысуев Василий Алексеевич, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>, e-mail: sisuev@mail.ru

✉ **Дёмшин Сергей Леонидович**, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Черемисин Дмитрий Анатольевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1332-4034>, e-mail: cheremisinov86@mail.ru

Доронин Максим Сергеевич, соискатель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, e-mail: maksim.doronin2017@mail.ru

Information about the authors

Vasiliy A. Sysuev, academician of RAS, academic advisor, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>, e-mail: sisuev@mail.ru

✉ **Sergey L. Demshin**, DSc in Engineering, associate professor, head of the laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Dmitriy A. Cheremisinov, PhD in Engineering, researcher, 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/0000-0002-1332-4034>, e-mail: cheremisinov86@mail.ru

Maxim S. Doronin, applicant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, e-mail: maksim.doronin2017@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МОРДОВСКОМУ НИИСХ – 90 ЛЕТ

Бурное развитие российской аграрной науки началось на рубеже XIX-XX веков и было связано со стремлением увеличить доходы от сельского хозяйства, которое в значительной степени оставалось низкопродуктивным. Началось создание организаций агрономической помощи населению.

В СССР развитие аграрной науки значительно интенсифицировалось с 1929 г., когда была учреждена Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина (ВАСХНИЛ), под руководством которой в стране началось создание широкой сети научно-исследовательских учреждений. Тенденция развития аграрной науки проявилась и на территории современной Республики Мордовия, где состояние экономики определялось уровнем развития сельского хозяйства.

После создания в 1930 году Мордовской автономной области было принято решение о формировании специализированной овощной зональной опытной станции, образованной 17 июля 1930 г. по решению президиума Наркомата земледелия СССР и президиума ВАСХНИЛ в районе г. Саранска, в поселке Ялга. Создание Мордовской овощной зональной опытной станции стало первым шагом на пути развития аграрной науки в регионе. С этого учреждения начала свое развитие Мордовская сельскохозяйственная опытная станция, преобразованная в 1996 году в Научно-исследовательский институт сельского хозяйства.

На этом непростом этапе жизнь института оказалась теснейшим образом связана с Россельхозакадемией. Научные направления 1990-х годов приобрели новое звучание. Социально-экономические условия этих лет сделали бессмысленной и убыточной ориентацию на техногенное земледелие. Это привело к смене теоретических позиций в сельскохозяйственной науке, основой которых стала стратегия ландшафтно-экологического земледелия, предполагающая scrupulous учет природных факторов в их взаимосвязи с техногенными. В соответствии с рекомендациями Россельхозакадемии институт взял курс на разработку адаптивной структуры посевов, при которой не только снижаются затраты на производство продукции, но и улучшаются агроландшафты, ликвидируется неоправданно высокая распаханность земель, прекращается эрозия почвы и загрязнение грунтовых вод нитратами.

В начале нового тысячелетия произошли определенные позитивные изменения в политическом развитии России. Была осуществлена земельная реформа, сформирован многоукладный сектор экономики с различными формами собственности

и хозяйствования, укреплялась рыночная инфраструктура. Республика Мордовия принимала последовательные целенаправленные меры, направленные на поддержку сельского хозяйства.

В эти годы руководству института удалось добиться финансовой поддержки региональных властей и обновить сельскохозяйственную технику и складские помещения. За счет хозяйственного расчета была отремонтирована аналитическая лаборатория и осуществлен ремонт административного здания, благоустроена прилегающая территория. Принятые меры стали импульсом, зарядившим энергией коллектив учреждения. Исследования стали проводиться в многолетних и многофакторных опытах, где изучалось регулирование плодородия почв, комплексное использование средств химизации и биологического азота. В семеноводстве были проведены мероприятия, позволившие создать единый, однородный в фитосанитарном отношении массив, что позволило в короткие сроки усовершенствовать систему семеноводства и выращивать экологически безопасные семена.

Руководство института приложило значительные усилия, чтобы интенсифицировать и поставить на постоянную основу контакты с Россельхозакадемией как важный стимул для оживления научно-исследовательской деятельности. Дирекция считала необходимым приглашать видных ученых страны на все резонансные мероприятия, на которых побывало более 20 академиков и девять членов-корреспондентов Россельхозакадемии.

Интенсивное научное общение позволяло поддерживать необходимый уровень научных исследований, ориентировать научную проблематику учреждения на наиболее актуальные научные направления, обеспечивать высокий уровень организации мероприятий.

Одним из наиболее амбициозных начинаний института стало участие в изучении возможностей и перспектив точного (координатного) земледелия, которое позволяло добиться повышения урожайности при сокращении затрат на средства химизации. Для этого в 2003 г. при поддержке Правительства Республики Мордовия на базе Мордовского НИИСХ был создан Региональный центр координатного земледелия, работа которого происходила в теснейшем сотрудничестве с Всероссийским институтом механизации. Поставленная задача агроэкономического дифференцированного применения средств химизации при производстве продукции растениеводства была успешно достигнута.

Попытка интенсифицировать научные исследования в институте повысила значение и

статус ведения первичного семеноводства в регионе и за его пределами. Ежегодно реализовывалось свыше 500 т оригинальных семян сельскохозяйственных культур, что обеспечивало основной поток денежных средств на счетах института.

На протяжении 10 лет коллектив института старался расширить свою нишу в экономике отрасли. Самым долгосрочным проектом, направленным на взаимодействие с товаропроизводителем, стало сотрудничество с пивоваренной компанией «Сан-Инбев» по программе «Пивоваренный ячмень». Институт ежегодно осуществлял испытание и отработывал элементы технологии более 50 сортов пивоваренного ячменя европейской и американской селекции. Успешное сотрудничество с пивоварами позволило решить проблему производства солода, сырье для которого производили хозяйства республики.

Активизация деятельности института сопровождалась организацией масштабных научных мероприятий различного значения. Мордовский НИИСХ являлся базой для всероссийских научных семинаров, конференций и выставок, где принимали участие ведущие ученые страны, руководители академических институтов, отечественные и зарубежные производители. Ярким подтверждением организационных возможностей института явилось проведение на его полях грандиозного общероссийского форума «День Российского поля – 2006», получившего статус международного.

Во втором десятилетии 21 века фундаментальные и прикладные исследования, реализуемые в НИИСХ, были по-прежнему направлены на разрешение актуальных проблем региона. Приоритетными являлись разработки в рамках адаптивно-ландшафтной и точной систем земледелия. В животноводстве следует отметить работу по созданию нового типа красно-пестрого скота с продуктивностью животных свыше 8 тыс. кг молока, адаптивного и приспособленного к интенсивной технологии.

В течение двадцатилетия на материалах института были защищены три докторские диссертации по земледелию (Моисеев А.А., Кудашкин М.И., Артемьев А.А.), обобщающие результаты опытов, проводимых на полях института десятилетиями. Эти работы стали важным вкладом ученых института в фундаментальную науку. Выполнение подобных работ стало возможным не только благодаря усердию и талант авторам, но и благодаря длительной кропотливой работе нескольких поколений исследователей, трудами которых сформировались уникальные опытные площадки, где десятилетиями накапливались результаты. В настоящее время, сохраняя заложенные традиции, значительный вклад в развитие научных идей и получение

весомых результатов вносят Прокина Л.Н., Капитанов М.П., Гурьянов А.М., Вельматов А.П., Артемьев А.А., Кузнецов Д.А., Хвостов Е.Н., Пугаев С.В. и другие сотрудники.

Второе десятилетие двадцать первого века, как и многие научные организации страны, институт прожил в обстановке масштабных реорганизаций. Научные институты, которыми ранее управляли академии, были переданы под управление Федерального агентства научных организаций (ФАНО), которое было призвано упорядочить имущество РАН. В это непростое время статус института Федерального бюджетного научно-исследовательского учреждения не обеспечивал ему должного федерального финансирования, вынуждая самостоятельно дотировать деятельность научных сотрудников из доходов от ведения семеноводства. Федеральных средств не хватало на поддержание и обновление материально технической базы учреждения. К концу второго десятилетия двадцатого века институт вел свою работу, балансируя на грани выживания.

В 2017 году Мордовский НИИСХ стал филиалом без образования юридического лица Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) с центром в городе Кирове. Присоединение позволило не только продолжить свою научную и производственную деятельность и сохранить кадровый потенциал, но и сделать институт более защищенным.

С завершением в 2018 г. реорганизации РАН ФАНО выполнило поставленные перед ним задачи и было упразднено. Руководящей инстанцией как для НИИ, так и для учреждений высшего профессионального образования стало Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

К своему 90-летию первая научная организация Республики Мордовия подошла в противоречивом состоянии. С одной стороны, по-прежнему наблюдалось дальнейшее сокращение сотрудников и федерального финансирования, а с другой – реорганизация РАН, проведенная на федеральном уровне, не повредила статусу учреждения. Крайне важным, с точки зрения будущего развития, было то, что Мордовский НИИСХ сохранил научно-методическое руководство со стороны ФАНЦ Северо-Востока, став его филиалом. Меры, продекларированные руководством Российской Федерации, позволяют надеяться на улучшение финансового положения сельскохозяйственной науки, что дало бы возможность укрепить материальную базу, оживить научные исследования, активизировать взаимодействие с хозяйствами Республики Мордовия, тем самым, возвратив институту хотя бы часть величия советской эпохи.

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

**3 июня 2020 г. ушел из жизни доктор биологических наук,
профессор, член-корреспондент РАН**

ВЛАДИМИР ГЕОРГИЕВИЧ САФОНОВ



Владимир Георгиевич родился 7 октября 1935 г. в Нижнем Новгороде. После окончания МГУ им. М. В. Ломоносова в 1958 г. Владимир Георгиевич был направлен по распределению во ВНИИ животного сырья и пушнины (ныне ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова). В 1958-1959 гг. он занимался организацией новых предприятий по комплексному использованию природных биоресурсов в Ханты-Мансийском национальном округе, в 1960-е годы – разработкой биологических и организационных основ хозяйственного использования ресурсов речного бобра.

В 1967 г. В. Г. Сафонов был направлен в Кировский сельскохозяйственный институт, где стал одним из создателей и первым деканом факультета охотоведения.

В 1973 г. В. Г. Сафонов переведен во ВНИИОЗ на должность заместителя директора по научной работе, а в мае 1980 г. Назначен директором института, который возглавлял четверть века. Многолетний научный опыт, высокая эрудиция, широкий кругозор, ораторские способности и личное обаяние Владимира Георгиевича Сафонова на протяжении многих

лет позволяли достойно представлять институт на международном уровне, укреплять связи с зарубежными коллегами и участвовать в выполнении многих международных программ.

Результаты научных исследований под руководством и участием В. Г. Сафонова положили начало регулируемому промысловому использованию восстановленных популяций бобров в СССР, мониторингу изменения состава и численности животных в условиях нарастания антропогенного воздействия. Обоснованием хозяйственного использования ресурсов охотничьих животных и акклиматизации новых видов животных внесен значительный вклад в теорию науки, прикладную экологию и охотоведение. В последние годы В. Г. Сафонов возглавил новое направление НИР, связанное с изучением влияния промышленных загрязнений среды на экосистемы, популяции животных и растений в целях биоиндикации и обеспечения экологической безопасности населения.

В 1999 г. Владимир Георгиевич избран членом-корреспондентом Российской сельскохозяйственной академии по Отделению зоотехнии, а далее и Российской академии наук.

Научно-педагогический стаж В. Г. Сафонова составил 62 года. За этот период им опубликовано более 200 научных работ, в том числе 18 за рубежом. По его инициативе и под его редакцией с 2000 г. начал издаваться научно-теоретический журнал «Охотоведение». Владимир Георгиевич являлся членом редколлегий журналов «Охота и охотничье хозяйство» и «Аграрная наука Евро-Северо-Востока». Под его руководством подготовлено большое количество специалистов высшей квалификации, защищено 11 диссертаций (7 кандидатских и 4 докторских). Владимир Георгиевич – заслуженный работник охотничьего хозяйства России, среди его наград – орден «Знак Почета» и медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Владимир Георгиевич Сафонов был талантливым ученым, исключительно доброжелательным и отзывчивым человеком, внимательным руководителем. Таким он навсегда и останется в наших сердцах.

Друзья и коллеги из ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова,
редакция журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока»

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

17 июля 1930 года была создана

Мордовская овощная зональная опытная станция

(ныне Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ “Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого”)



Инициатива по организации станции исходила от руководства Мордовской автономной области (ныне Республика Мордовия), которое рассматривало ее как необходимую и стратегически важную меру для развития сельского хозяйства региона. Эту инициативу поддержали Наркомзем СССР и Президиум ВАСХНИЛ. В 1937 г. учреждение было включено в сеть государственных селекционных станций, а в 1956 г. преобразовано в Мордовскую государственную сельскохозяйственную опытную станцию. В 1996 г. на ее базе создан Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства.



**Всесоюзный семинар
на опытной станции**



Посев овса Укосный 550



Посев делянок на станции

Вместе со всей страной в годы XX века аграрная наука Мордовии прошла сложный исторический путь, не прекращая деятельность в военный период, решая амбициозные задачи по восстановлению и интенсификации сельскохозяйственного производства. С ней связана жизнь нескольких поколений ученых-аграрников и организаторов производства. Среди них Г. М. Головин, Д. Д. Широков, С. Н. Базаров, А. Т. Ивашкин, В. А. Скопцов, А. М. Коршунов, Г. Ф. Никитенко, Н. К. Корабицкий, М. С. Малышкин, А. М. Клочков, В. П. Магницкий, М. И. Сорокин, Я. А. Полежаев, П. А. Ковальчук, К. А. Костров, А. В. Малова, Ю. В. Чапаев, В. И. Рузаева и многие другие.



Ветераны опытной станции



**Три поколения директоров (слева направо):
А. Т. Ивашкин (1980-1997), С. Н. Базаров (1970-1980),
А. М. Гурьянов (2001 г. - по н.в.)**

Спустя 90 лет со дня основания станции аграрная наука играет важную роль в развитии Республики Мордовия, обеспечивая разработку эффективных систем и технологий в растениеводстве и животноводстве. Кадровый потенциал института превышает 30 человек, в том числе 4 доктора и 7 кандидатов наук.

Свой юбилей Мордовский НИИСХ отмечает в составе Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого в качестве самостоятельного структурного подразделения, сохраняя и приумножая научные традиции не одного поколения исследователей.

