

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 25
№ 4
2024

Vol. 25
No. 4
2024

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. Защита растений. Сельскохозяйственная микробиология и микология. Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. Земледелие, агрохимия, мелиорация. Кормопроизводство: полевое и луговое, кормление сельскохозяйственных животных. Зоотехния. Ветеринарная медицина. Звероводство, охотоведение. Механизация, электрификация, автоматизация. Экономика.)
- ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысеев Василий Алексеевич, д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Зам. главного редактора – Рубцова Наталья Ефимовна, к.с.-х.н., доцент, зав. научно-организационным отделом ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,
Агалакова Татьяна Владимировна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории ветеринарной иммунологии, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

| | |
|--------------------------------------|---|
| Андреев Николай Руфеевич | д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», г. Москва, Россия |
| Багиров Вугар Алиевич | д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия |
| Баталова Галина Аркадьевна | д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия |
| Гурьянов Александр Михайлович | д.с.-х.н., профессор, главный специалист по коммуникациям и инновациям, главный научный сотрудник Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия |
| Дёгтева Светлана Владимировна | д.б.н., чл.-корр. РАН, директор ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия |
| Джавадов Эдуард Джавадович | д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия |
| Дидманидзе Отари Назирович | д.т.н., профессор, академик РАН, зав. кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Россия |
| Домский Игорь Александрович | д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия |
| Еремин Сергей Петрович | д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия |
| Иванов Дмитрий Анатольевич | д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия |
| Казакевич Пётр Петрович | д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь |
| Косолапов Владимир Михайлович | д.с.-х.н., профессор, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», г. Москва, Россия |
| Костяев Александр Иванович | д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия |
| Куликов Иван Михайлович | д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Россия |
| Леднев Андрей Викторович | д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения ФГБНУ «Удмуртский ФИЦ УрО РАН», г. Ижевск, Россия |
| Никонова Галина Николаевна | д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела прогнозирования трансформации экономических структур и земельных отношений Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия |
| Пашкина Юлия Викторовна | д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия |

**Журнал включен
в Перечень рецензируемых
научных изданий,
в которых должны быть
опубликованы основные
научные результаты
диссертаций на соискание
ученых степеней
кандидата и доктора наук**

Журнал включен в базы данных
РИНЦ, ВИНТИ, AGRIS,
Russian Science Citation Index
(RSCI) на ведущей мировой
платформе Web of Science,
BASE, Dimensions,
Ulrich's Periodicals Directory,
DOAJ, EBSCO

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

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

Адрес издателя и редакции:

610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Подписано к печати
21.08.2024

Дата выхода в свет
31.08.2024

Формат 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 24,88.

Тираж 100 экз. Заказ 24.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

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

Савченко
Иван Васильевич

Самodelкин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич
Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Широких
Ирина Геннадьевна
Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Артёмьев Андрей
Александрович

Брандорф
Анна Зиновьевна

Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

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, академик РАН, главный научный сотрудник отдела
растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия

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

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

д.с.-х.н., заслуженный деятель науки РФ, профессор, зав. кафедрой агрохимии
и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехно-
логический университет», г. Нижний Новгород, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

д.т.н., профессор, Технолого-природоведческий институт, г. Варшава, Польша

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

Редакционная коллегия

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

д.с.-х.н., доцент, ведущий научный сотрудник, директор Мордовского
НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией пчеловодства
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

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

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



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

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

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

Tatyana V. Agalakova, Cand. of Sci. (Biology), senior researcher at the laboratory veterinary immunology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

- | | |
|------------------------------|---|
| Nikolay R. Andreev | Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia |
| Vugar A. Bagirov | Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia |
| Galina A. Batalova | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Alexander M. Guryanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, chief Communications and Innovation Specialist, chief researcher of the Mordovia Agricultural Research Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Saransk, Russia |
| Svetlana V. Degteva | Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of the Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia |
| Eduard D. Dzhavadov | Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia |
| Otari N. Didmanidze | Dr. of Sci. (Engineering), professor, academician of RAS, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia |
| Igor A. Domskiy | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia |
| Sergey P. Eremin | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia |
| Dmitriy A. Ivanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the All-Russian Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver, Russia |
| Petr P. Kazakevich | Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus |
| Vladimir M. Kosolapov | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the Academic advisor of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia |
| Aleksandr I. Kostjaev | Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia |
| Ivan M. Kulikov | Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia |
| Andrei V. Lednev | Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia |
| Galina N. Nikonova | Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia |
| Yulia V. Pashkina | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia |

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

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

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

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

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

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

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

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

Passed for printing
21.08.2024

Date of publication
31.08.2024

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. l. 24.88.
Circulation 100 copies. Order 24.
Free price.

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

- | | |
|--------------------------------|---|
| Ivan V. Savchenko | Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, chief researcher All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia |
| Alexander G. Samodelkin | Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the agricultural and Environmental direction of the Nizhny Novgorod Scientific and Educational Center, Nizhny Novgorod, Russia |
| Pavel N. Sisayagin | Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia |
| Vera I. Titova | Dr. of Sci. (Agricultural), Honored Worker of Science of the Russian Federation, professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia |
| Anton N. Tokarev | Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia |
| Eroma P. Urban | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus |
| Irina G. Shirokikh | Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Irina N. Shchennikova | Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Changzhong Ren | President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China |
| Semjons Ivanovs | Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia |
| Andrzej Marczuk | Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland |
| András Náhlik | The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary |
| Kaisa Poutanen | Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland |
| Vaclav Romaniuk | Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland |
| Li Yu | professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China |

Editorial Board

- | | |
|-------------------------------|---|
| Aleksey V. Aleshkin | Dr. of Sci. (Engineering), professor, the Department of Mechanics and Engineering Drawing, Vyatka State University, Kirov, Russia |
| Andrey A. Artemjev | Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, leading researcher, Director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia |
| Anna S. Brandorf | Dr. of Sci. (Agricultural), leading researcher, head of the Laboratory of Beekeeping, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Alexander I. Burkov | Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, the Honored Inventor of the Russian Federation, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Tatyana L. Egoshina | Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia |
| Alexander A. Ivanovsky | Dr. of Sci. (Veterinary), leading researcher, head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Olga V. Kostenko | Cand. of Sci. (Economics), associate professor, associate professor at the Department of Accounting and Finance, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia |
| Olga V. Ryabova | Cand. of Sci. (Biology), associate professor at the Department of Microbiology, Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia |
| Alexander P. Saveljev | Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia |
| Evgeniya V. Tovstik | Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia |
| Andrey V. Filatov | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia |
| Tatyana K. Sheshhegova | Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Gubeidulla S. Junusov | Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia |

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

В. Р. Харзинова, Н. А. Зиновьева

Применение микросателлитов в популяционно-генетических исследованиях северного оленя (*Rangifer tarandus*) (обзор)..... 525

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

И. А. Белан, Л. П. Россеева, М. Е. Мухордова, Н. П. Блохина, И. В. Пахотина, Я. В. Мухина, Н. С. Пугачева

Адаптивная селекция пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области..... 538

Т. А. Бабайцева, И. Н. Серебренникова, Э. Ф. Вафина, А. В. Мильчакова

Оценка адаптивных свойств сортов озимой тритикале по урожайности в Среднем Предуралье..... 551

Е. С. Парфенова, Е. А. Псарева

Адаптивность сортов озимой ржи по урожайности в условиях Кировской области..... 561

А. А. Артемьев, Г. Н. Ибрагимова

Продуктивность ярового ячменя при разных нормах посева и дозах удобрений..... 571

О. Н. Башлакова

Результаты испытаний новых селекционных гибридов картофеля в условиях Волго-Вятского региона..... 583

С. В. Щербёнок, Т. Н. Лисина, С. Л. Елисеев, А. Л. Латыпова

Влияние УФ-А на некоторые морфометрические и биохимические показатели растений-регенерантов картофеля.. 592

С. А. Мусихин, Д. А. Зорин, А. В. Худякова

Влияние генетического сходства, активности пероксидазы и содержания аскорбиновой кислоты в компонентах прививок тыквенных культур на их приживаемость..... 602

Е. М. Чеботок

Комплексная оценка элитных форм черной смородины уральской на пригодность к механизированной уборке урожая..... 616

Н. И. Матвеева

Эффективность применения различных видов стимулирующих веществ для размножения клоновых подвоев семечковых культур в условиях аридной зоны..... 623

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

И. В. Лыкова, И. Г. Широких, Я. И. Назарова, Т. В. Лыкова, С. С. Пислегина, Г. А. Перевозчикова

Эффективность применения лабораторных образцов на основе бактерий рода *Streptomyces* на горохе в условиях Волго-Вятского региона..... 634

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

А. В. Ильинский, К. Н. Евсенкин, А. А. Павлов

Паводковые седименты как источник пополнения аллювиальных почв элементами питания растений..... 645

А. В. Ивенин, В. В. Ивенин, Ю. А. Богомоллова, С. М. Голубев, И. И. Бугров

Влияние технологий возделывания яровой пшеницы на засоренность ее посевов и урожайность в условиях Нижегородской области..... 655

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Н. А. Морозков, Е. В. Суханова, Р. В. Кайгородов, И. Н. Жданова, Л. С. Терентьева

Эффективность использования фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек..... 664

ЗООТЕХНИЯ

Н. А. Попов

Совершенствование признаков молочности в хозяйствах и племенная ценность быков-производителей при оценке по качеству потомства..... 674

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

В. В. Мосягин, В. С. Попов, Г. Ф. Рыжкова

Влияние композиции, содержащей липосомы с инкапсулированным оротатом калия, на макрофагальное звено иммунитета при лечении ран..... 683

Н. В. Боголюбова

Оценка гормонального и антиоксидантного статуса организма овец разных возрастных групп..... 691

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

Т. М. Ковалева, С. М. Ведищев, В. Ю. Зайцев, В. В. Коновалов

Моделирование критической частоты вращения лопастного ротора с отогнутыми лопастями в циркуляционном смесителе кормосмесей..... 700

М. А. Луинов

Математическая модель процесса смешивания полужидких кормов в устройстве с пропеллером..... 712

ЭКОНОМИКА

Р. Т. Казарян

Развитие инфраструктуры села в контексте сезонной занятости в сельском хозяйстве Российской Федерации... 720

CONTENTS

REVIEWS

- Veronika R. Kharzinova, Natalia A. Zinovieva*
Application of microsatellites in population genetic studies of reindeer (*Rangifer tarandus*) (review)..... 525

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Igor A. Belan, Lyudmila P. Rosseeva, Maria E. Mukhordova, Natalia P. Blokhina, Irina V. Pakhotina, Yaroslava V. Mukhina, Natalia S. Pugacheva*
Adaptive breeding of soft spring wheat for the conditions of Western Siberia and the Omsk region..... 538
- Tatyana A. Babaytseva, Irina N. Serebrennikova, Elmira F. Vafina, Anna V. Milchakova*
Assessment of adaptive properties of winter triticale cultivars by yield in the Middle Urals..... 551
- Elena S. Parfenova, Ekaterina A. Psareva*
Adaptability of winter rye cultivars by yield in the conditions of the Kirov region..... 561
- Andrey A. Artemjev, Galina N. Ibragimova*
Productivity of spring barley at different seeding rates and doses of fertilizers..... 571
- Olga N. Bashlakova*
Test results of new breeding potato hybrids in the conditions of the Volga-Vyatka region..... 583
- Sofiya V. Shcherbyonok, Tatyana N. Lisina, Sergey L. Eliseev, Anna L. Latypova*
The influence of UV-A on some morphometric and biochemical parameters of potato regenerate plants..... 592
- Sergey A. Musikhin, Denis A. Zorin, Anna V. Khudyakova*
The influence of genetic similarity, peroxidase activity and ascorbic acid content in the components of pumpkin crop grafts on their survival rate..... 602
- Elena M. Chebotok*
Comprehensive assessment of elite forms of black currant of the Ural selection for suitability to mechanized harvesting... 616
- Natalya I. Matveeva*
The effectiveness of using various types of stimulating substances for the propagation of clonal rootstocks of pome crops in arid zone conditions..... 623

PLANT PROTECTION

- Irina V. Lyskova, Irina G. Shirokikh, Yanina I. Nazarova, Tatiana V. Lyskova, Svetlana S. Pislegina, Galina A. Perevozshnikova*
The effectiveness of using the laboratory samples based on bacteria of the genus *Streptomyces* on peas in the conditions of the Volga-Vyatka region..... 634

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Andrey V. Ilinskiy, Konstantin N. Evsenkin, Artyom A. Pavlov*
Flood sediments as a source of replenishment of alluvial soils with plant nutrition elements..... 645
- Alexey V. Ivenin, Valentin V. Ivenin, Yulia A. Bogomolova, Sergey M. Golubev, Ivan I. Bugrov*
The influence of cultivation technologies on the contamination of spring wheat crops and yield in the conditions of the Nizhny Novgorod region..... 655

FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

- Nikolay A. Morozkov, Elena V. Sukhanova, Roman V. Kaigorodov, Irina N. Zhdanova, Lyudmila S. Terentyeva*
The effectiveness of using plant-based feed supplement made of *Astragalus cicer* in the diets of laying hens..... 664

ZOOTECHNY

- Nikolay A. Popov*
Improvement of dairy characters in farms and breeding value of the same breeding bulls when assessing the quality of offspring..... 674

VETERINARY MEDICINE

- Vladimir V. Mosyagin, Victor S. Popov, Galina F. Ryzhkova*
The effect of liposomal composition with encapsulated potassium orotate on the macrophage link of immunity in the treatment of wounds..... 683
- Nadezhda V. Bogolyubova*
Assessment of the hormonal and antioxidant status of the sheep of different age groups..... 691

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Tatyana M. Kovaleva, Sergey M. Vedishchev, Vladimir Yu. Zaitsev, Vladimir V. Kononov*
Modeling the critical rotation speed of a bladed rotor with bent blades in a circulation mixer of feed mixtures..... 700
- Maksim A. Lushnov*
Mathematical model of the process of mixing semi-liquid feeds in a device with a propeller..... 712

ECONOMY

- Razmik T. Kazaryan*
Rural infrastructure development in the context of seasonal employment in agriculture of the Russian Federation..... 720

ОБЗОРЫ/REVIEWS

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.525-537>

УДК 636.01:599.735.33



Применение микросателлитов в популяционно-генетических исследованиях северного оленя (*Rangifer tarandus*) (обзор)

© 2024. В. Р. Харзинова✉, Н. А. Зиновьева

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация

За последние несколько десятилетий теоретические, аналитические и методологические достижения в генетике произвели революцию в популяционно-генетических исследованиях, обеспечив лучшее понимание эволюционных процессов, истории популяций и видов. Методологически такой прогресс во многом обусловлен изобретением технологии полимеразной цепной реакции и внедрением маркеров микросателлитной ДНК. В настоящем обзоре обсуждаются тенденции в использовании микросателлитных маркеров как эффективных инструментов для решения широкого спектра задач в популяционной генетике, природоохранной и эволюционной биологии единственного вида рода *Rangifer* – северного оленя. На основании проведенного анализа экспериментальных и обзорных публикаций (78 источников) научных коллективов Российской Федерации, Канады, Соединенных Штатов Америки, Ирландии, Японии, Китая, Норвегии, обобщены первые работы успешной амплификации микросателлитов северных оленей, а также продемонстрирована значимость данных маркеров для изучения внутривидовой и межвидовой изменчивости, дифференциации, генетических взаимоотношений, воздействия антропогенных факторов на генетическое разнообразие и генетическую изоляцию популяций, а также для реконструкции эволюционной истории различных форм северного оленя.

Ключевые слова: ДНК-маркеры, STR, генетическое разнообразие, карibu, оленеводство

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-2024-0018, № 124051400016-6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харзинова В. Р., Зиновьева Н. А. Применение микросателлитов в популяционно-генетических исследованиях северного оленя (*Rangifer tarandus*) (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(4):525–537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.525-537>

Поступила: 17.05.2024

Принята к публикации: 03.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Application of microsatellites in population genetic studies of reindeer (*Rangifer tarandus*) (review)

© 2024. Veronika R. Kharzinova✉, Natalia A. Zinovieva

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Podolsk, Moscow region, Russian Federation

Over a few past decades, theoretical, analytical, and methodological advances in genetics have revolutionized population genetic research, providing a better understanding of evolutionary processes and the history of populations and species. Methodologically, this progress is largely due to the invention of polymerase chain reaction technology and the introduction of microsatellite DNA markers. This review discusses trends in the use of microsatellite markers as effective tools for solving a wide range of issues in population genetics, conservation and evolutionary biology of the only species of the genus *Rangifer* – reindeer. Based on the analysis of both experimental and review publications (78 sources) of the scientific teams of the Russian Federation, Canada, the United States of America, Ireland, Japan, China, Norway the first works on the successful amplification of reindeer microsatellites have been summarized. There has been demonstrated the significance of the data of markers for studying intra- and inter-population diversity, differentiation, genetic relationships, the impact of anthropogenic factors on genetic diversity and genetic isolation of populations, as well as for reconstructing the evolutionary history of the various reindeer forms.

Keywords: DNA markers, STR, genetic diversity, caribou, reindeer husbandry

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. FGGN-2024-0018, No. 124051400016-6).

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: Kharzinova V. R., Zinovieva N. A. Application of microsatellites in population genetic studies of reindeer (*Rangifer tarandus*) (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):525–537. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.525-537>

Received: 17.05.2024

Accepted for publication: 03.07.2024

Published online: 28.08.2024

Прогресс в современной биологии в значительной степени базируется на развитии и использовании молекулярно-генетических подходов, в основе которых лежит анализ полиморфизма ДНК, выявляемый с помощью молекулярных маркеров [1]. Достижения в области молекулярной биотехнологии привели к открытию различных типов молекулярных маркеров, которые стали использоваться в качестве критериев селекционных процессов, что позволило более достоверно оценивать генетический потенциал пород, популяций и отдельно взятых особей, более точно контролировать селекционные процессы в стадах, корректировать их направленность [2]. Микросателлиты, представляющие собой tandemные повторы ДНК с размером мономерного звена от одного до десяти нуклеотидов, были впервые предложены в 1989 г. [3, 4, 5]. Они также известны под названиями «простые повторы последовательности ДНК» (simple sequence repeat, SSR) [4] и «короткие tandemные повторы ДНК» (short tandem repeat, STR) [6]. Э. Д. Джеффрис и др. (A. J. Jeffreys et al.) [7] и И. Л. Вебер и др. (J. L. Weber et al.) [5] предположили, что изменения длины tandemно расположенных повторяющихся ДНК в мини- и микросателлитах обычно происходят из-за увеличения или уменьшения числа копий повторяющихся единиц [8]. При этом естественными причинами разнообразия в количестве повторов единиц микросателлитов в геноме являются «проскальзывание» (slippage) полимеразы в ходе репликации ДНК, и/или несоответствующий кроссинговер, несоответствие/восстановление повреждений двойной нити ДНК, а также перемещения ретротранспозонов. Эти вариации приводят к полиморфизму по длине фрагментов, выявляемых при электрофорезе, и представляют собой основу для большинства методов профилирования ДНК, используемых сегодня [1, 8, 9]. Микросателлиты расположены по всему геному и присутствуют как в некодирующих, так и в кодирующих областях генома, а также в хлоропластном [10] и митохондриальном геномах [1, 11].

О преимуществах и недостатках микросателлитов сообщали многие авторы как в самых первых работах [12, 13, 14], так и в последующих. Их преимущества: требуется неболь-

шое количество матричной ДНК (10–100 нг); высокая степень полиморфизма [15, 16]; доминантный тип наследования [17]; высокая точность и воспроизводимость; возможность мультиплексирования различных микросателлитов в ПЦР и их автоматизация [18, 19]. К недостаткам микросателлитов относят: трудоемкость разработки тест-систем; наличие нулевых аллелей (существующих аллелей, которые не наблюдаются с помощью стандартных анализов); гомоплазия и слишком большое количество аллелей в определенных локусах, что требует увеличенного размера выборки для проведения исследований; микросателлитные маркеры действительно помогают выявить нейтральное биоразнообразие, но не предоставляют информацию о функциональных признаках биоразнообразия [8, 19, 20].

Несмотря на вышеперечисленные недостатки, возможность проведения мультиплексных ПЦР и частичная автоматизация генотипирования микросателлитов с помощью фрагментного анализа на капиллярных секвенаторах привели к тому, что данные маркеры стали одними из наиболее часто используемых в селекции сельскохозяйственных животных. Они служат значимым источником информации о состоянии генетических ресурсов, способствуя повышению эффективности процессов анализа генетического разнообразия и генетической чистоты, а также способны генерировать информацию для планирования скрещиваний и выбора генотипов в программах генетической селекции [21, 22]. Кроме того, микросателлиты являются ценными инструментами для анализа достоверности происхождения [23, 24, 25, 26], породной принадлежности [27, 28, 29] и установления степени инбридинга в определенных группах и стадах [30, 31].

Северный олень (карибу в Северной Америке) относится к отряду парнокопытных (*Artiodactyla*) семейству оленьи (*Cervidae*) и это единственный представитель рода Северные олени (*Rangifer*). Ареал распространения вида занимает всю северную часть Арктического региона, включая арктические и субарктические регионы Азии, Европы и Северной Америки [32, 33]. Ареал обитания северного оленя в Российской Федерации включает тундру, лесотундру, тайгу, высокогорья Алтая,

Саяны, лесные зоны юга Сибири [34]. Вместе с тем, при анализе происхождения, одомашнивания и разведения северного оленя в Евразии Б. Гордон (B. Gordon) [35] сообщил, что процесс его одомашнивания длился тысячи лет и охватывал более широкий ареал и не только голарктический регион, где он обитает и сегодня. Различные древние человеческие культуры пасли стада оленей для получения продуктов питания и обеспечения себя транспортом. И по настоящее время северные олени не только представляют собой приоритетное звено арктических сообществ, но и служат важнейшей составляющей продовольственной безопасности населения северных территорий Сибири [36]. Вместе с тем, несмотря на экономическое значение отрасли оленеводства для коренных малочисленных народов и этнических групп Субарктики, для северных оленей проведено значительно меньше генетических исследований, в сравнении с другими видами животных. В целом, внедрение генетических технологий в оленеводство пока находится в начальной стадии развития. Это обусловлено несколькими факторами, основным из них является отличие селекционно-племенной работы с северными оленями, которая ведется традиционными методами и существенно отличается от других отраслей животноводства. В частности, в оленеводстве не применяют искусственное осеменение и трансплантацию эмбрионов. Эффективность мероприятий также уменьшается из-за сезонности размножения, низкой сохранности поголовья и делового выхода молодняка, вольной системы случки. Все это формирует ряд сложностей для проведения оценки производителей по качеству потомства, а непродолжительные сроки их использования делают ее малоэффективной [37].

Исследования генетических особенностей северного оленя вызывали повышенный интерес ученых всего мира. Согласно данным Р. Дж. Халл (R. J. Hall) [38], применение генетических маркеров у оленей следовало за развитием биохимии и молекулярной биологии, от первоначальных исследований, в которых использовали аллозимы, до исследований, включающих молекулярные маркеры как митохондриального, так и ядерного генома. Большинство исследований, в которых применяли молекулярные маркеры семейства *Cervidae*, были посвящены вопросам оценки уровня генетического разнообразия, проблемам сохранения и таксономии, присущим каждому виду [39, 40].

Эффективность микросателлитов, как инструментов для решения широкого спектра популяционно-генетических задач, нашла свое применение и в исследованиях северных оленей, в том числе в изучении генетического разнообразия и структуры популяций [41, 42, 43], в оценке степени дифференциации и интрогрессии домашних и диких форм [44, 45, 46], в прослеживании пространственных закономерностей генетического разнообразия и эффекта «бутылочного горлышка», реконструкции демографической истории региональных популяций [47, 48, 49, 50], в определении индивидуального уровня гетерозиготности и поиске ассоциаций между локусами микросателлитов и фенотипическими признаками [51, 52, 53], а также в оценке воздействия антропогенных факторов на генетическое разнообразие, генетическую изоляцию и эволюционные процессы [54, 55].

Следует отметить, что историю эволюции различных методов молекулярно-генетического анализа, единственного вида рода *Rangifer* – северного оленя, мы подробно представили ранее [36]. Однако, принимая во внимание факт того, что на сегодняшний день, из всех доступных маркерных систем, наиболее популярным и востребованным инструментом в популяционной генетике, природоохранной и эволюционной биологии северного оленя являются микросателлиты, то в данном обзоре мы сосредоточились именно на классе ДНК-маркеров.

Цель обзора. В настоящем обзоре принята попытка обобщить результаты применения микросателлитов в генетических исследованиях популяций северного оленя. Проведенный анализ различных научных работ, в том числе и собственных, позволил нам не только проследить историю открытия микросателлитов, но и продемонстрировать значимость данных маркеров в обнародовании ценной информации о внутривидовой и межвидовой популяционной изменчивости, гибридизации и генетических взаимоотношениях различных форм северного оленя, что способствовало разработке рекомендаций по сохранению и рациональному использованию генетических ресурсов этого вида животных.

Материал и методы. В качестве материалов для данного аналитического обзора были использованы научные публикации российских и зарубежных авторов в области молекулярно-генетических исследований популяций северного оленя с применением микросателлитных мар-

кером. Для обеспечения наиболее полного охвата актуальных и авторитетных материалов было использовано несколько подходов и инструментов: библиотечные ресурсы и базы данных PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>); Web of Science (<https://apps.webofknowledge.com/>); Scopus (<https://www.scopus.com/>); электронные библиотеки WILEY ONLINE LIBRARY (<https://onlinelibrary.wiley.com/>), eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>) и CyberLeninka (<https://cyberleninka.ru/>); онлайн-каталог Google Scholar (<https://scholar.google.ru/>); поисковые системы Google (<https://www.google.ru/>) и Yandex (<https://ya.ru/>). Поиск научных источников как на русском, так и английском языках был выполнен по следующим ключевым словам: microsatellite, STR, SSR, reindeer, Rangifer tarandus, genetic diversity, genomic distribution, ДНК-маркеры, микросателлиты, STR-локусы, северный олень, карибу, генетическое разнообразие, дифференциация, оленеводство. Дополнительный поиск источников выполняли по непосредственным спискам литературы, указанным в анализируемых научных материалах. Всего было рассмотрено не менее 150 опубликованных работ, из которых в список литературы включили 79. Исследуемый материал был представлен научными коллективами из Российской Федерации, Канады, Соединенных Штатов Америки, Ирландии, Японии, Китая, Норвегии. Для изучения поставленного вопроса были проанализированы источники без введения ограничений по временному периоду, так как были обсуждены самые первые работы по применению микросателлитов в генетических исследованиях северного оленя.

Основная часть. Обсуждение первых работ успешной амплификации микросателлитов северных оленей.

Несмотря на то, что анализ последовательностей микросателлитов, посредством полимеразной цепной реакции, является идеальным методологическим подходом для поиска ответов на многие вопросы популяционной генетики, разработка видоспецифичных праймеров для проведения ПЦР-амплификации аллелей может быть дорогостоящей и трудоемкой, поскольку включает в себя создание геномных библиотек, скрининг клонов с помощью микросателлитных последовательностей и саму разработку микросателлитных праймеров [8]. Однако еще в конце 80-х–начале 90-х годов появился целый ряд работ, указывающих на тот факт, что флан-

кирующие последовательности некоторых микросателлитных локусов консервативны среди родственных таксонов, следовательно, праймеры, разработанные для одного вида, могут быть использованы для амплификации гомологичных локусов у родственных видов. В последующем, с использованием такого подхода была исследована генетическая изменчивость и филогенетические взаимоотношения между двумя видами желтого сома [56], дана внутривидовая молекулярная характеристика шести таксонов семейства *Jatropha curcas* [57], проведены популяционно-генетические исследования корейского горала и других видов *Caprinae*, находящихся под угрозой исчезновения [58], предпринята попытка изучить возможность переноса олигонуклеотидов SSR эвкалипта на неродственные таксоны, принадлежащие к семейству *Casuarinaceae* [59], проведены экспериментальные исследования межтаксонных молекулярно-генетических различий видов животных внутри отряда Парнокопытные [60]. Согласно исследованиям П. М. Абдул-Мунир (P. M. Abdul-Muneer) [8], при использовании гетерологичных праймеров для проведения ПЦР стоимость разработки аналогичных маркеров у родственных видов значительно снижается.

Именно использование данного феномена перекрестной амплификации в 1996 и 1997 годах позволило научным коллективам Америки [61] и Канады [62] избежать масштабной предварительной работы, необходимой для разработки ПЦР-праймеров для отдельных локусов северного оленя и северного оленя, с использованием пар праймеров, разработанных для крупного и мелкого рогатого скота.

В 1998 году норвежские ученые К. Х. Рёед (K. H. Røed) и Л. Мидтхель (L. Midthjell) [63] публикуют результаты по разработке панели 17 новых микросателлитов северного оленя, большая часть из которых оказались высокополиморфными с числом аллелей на локус от 3 (NVHRT46) до 10 (NVHRT30). Данный спектр микросателлитов не только был апробирован на двух популяциях полудомашних оленей Норвегии, но и успешно протестирован на трех других видах семейства *Cervidae* (лось, благородный олень и косуля).

Таким образом, продемонстрированный успех в использовании гетерологичных ПЦР-праймеров для амплификации микросателлитных локусов у видов семейства *Cervidae* устранил необходимость разработки новых наборов праймеров для каждого вида и, следо-

вательно, облегчил и положил начало широкому использованию микросателлитов в качестве маркеров в популяционно-генетических исследованиях различных популяций северного оленя.

Обсуждение применения микросателлитов для изучения генетической изменчивости, гибридизации и степени дифференциации популяций северного оленя.

Согласно Дж. К. Чжай и др. (J. C. Zhai et al.) [33], генетическое разнообразие является важной основой для оценки генетических ресурсов, а высокое генетическое разнообразие свидетельствует о хорошей выживаемости и селекционном потенциале популяции. Обнарождение информации о состоянии генетического разнообразия северных оленей с использованием микросателлитных маркеров является одним из способов поддержки мероприятий, направленных на сохранение и рациональное использование генетических ресурсов этого вида животных. Значимость исследований генетической структуры, степени дифференциации и интрогрессии между домашними и дикими популяциями северного оленя обусловлено тем, что северный олень – это единственный вид животных, представленный как дикой, так и домашней формой, которые находятся в постоянном взаимодействии и обитают в условиях, которые остаются практически неизменными очень продолжительное время [45, 47]. Такое совместное существование популяций и, как следствие, их гибридизация, вызывает глобальное беспокойство, поскольку долгосрочные последствия такой гибридизации для популяций до конца не изучены [48].

Так, на основании аллельного разнообразия 18 микросателлитных локусов, М. А. Кронин и др. (M. A. Cronin et al.) [64] дали оценку генетической изменчивости полуодомашненных северных оленей Аляски, России и Скандинавии в сравнительном аспекте с дикими популяциями карibu. Авторы детектировали, что карibu превосходят домашних оленей по уровню аллельного разнообразия, при этом олени острова Шпицберген имели наименьший уровень генетической изменчивости. Кроме этого, авторы выявили, что уровень генетической изменчивости полуодомашненных северных оленей Аляски был сопоставим со значениями показателей выборки оленей России, и обе популяции характеризовались наличием общей части предковых компонентов, более чем через 100 лет после их интродукции.

На основе амплификации 19 полиморфных микросателлитных локусов, К. Х. Магер и др.

(K. H. Mager et al.) [65] исследовали потенциальную гибридизацию популяций крупных мигрирующих стад карibu (*Rangifer tarandus granti*) на Северном склоне Аляски с интродуцированными домашними северными оленями (*Rangifer tarandus tarandus*). Авторы выявили интрогрессию домашних оленей во всех стадах карibu северной части штата, где оленеводство было прекращено еще в 1940 году. Гибридные особи составили 8 % в стадах карibu. По мнению авторов, домашние олени, несмотря на отличия в сроках размножения и размерах тела, способны выживать и размножаться с карibu в дикой природе. При этом, учитывая стабильную и увеличивающуюся численность популяций карibu Северного склона Аляски, интрогрессия оленей не оказала очевидного вредного воздействия на демографию стад.

В другом своем исследовании, данный научный коллектив, на основании анализа изменчивости 21 микросателлита, изучал различные популяции карibu, обитающие на территории юго-запада Аляски [48]. Авторы также показали, что, по крайней мере, одно стадо района Аляски сохранило в себе генетические компоненты домашних северных оленей несмотря на то, что прошло около 70 лет с момента прекращения разведения домашних особей в регионе.

Вместе с тем, на основании генетической изменчивости пяти маркеров, датскими исследователями [66] была выявлена высокая степень генетической дифференциации между карibu и домашними северными оленями районов юго-запада Гренландии. В данном случае, вероятное объяснение выявленных отличий заключалось в географических особенностях этого района Гренландии, а именно в наличии естественных барьеров (ледники и широкие фьорды). При этом авторы обнаружили, что интродуцированные в 1952 году норвежские полуодомашненные северные олени были гибридизированы с гренландским карibu в двух районах.

Первая попытка систематического изучения генетической изменчивости единственной популяции северных оленей в Китае, с целью формирования эффективных подходов ее сохранения, была предпринята на основании анализа полиморфизма 11 микросателлитов [33]. Несмотря на то, что с 1949 года, с момента основания Китайской Народной Республики, Коммунистическая партия и народное правительство уделяют пристальное внимание охране и развитию оленьих ресурсов,

ситуация с численностью популяции северных оленей не является стабильной и оптимистичной. Данным научным коллективом в исследованных выборках северных оленей были выявлены высокие значения коэффициента инбридинга, являющиеся следствием как снижения численности, так и фрагментации среды обитания популяций. Полученные результаты исследователей послужили научной теоретической основой и справочной информацией по состоянию генетического разнообразия и ресурсов для защиты популяций северных оленей в Китае и управления ими.

Первые генетические исследования российских пород и популяций северного оленя с помощью микросателлитов были проведены на основании анализа полиморфизма девяти локусов [67]. Авторы разработали универсальную мультиплексную STR панель, применимую как для оценки достоверности происхождения, так и для характеристики генетического разнообразия российских аборигенных популяций северного оленя. В последующем, элементы данной тест-системы позволили не только получить информацию о состоянии уровня генетической изменчивости домашних и диких северных оленей, обитающих на территории от Кольского полуострова до Чукотки [68], Северо-Восточной Сибири [69, 70], Севера Европейской части страны и за Уралом [51, 71, 72], районов севера Дальнего Востока [73], но и определить степень генетической интрогрессии домашней и дикой популяций, обитающих на территории Ненецкого и Таймырского автономных округов [45]. В данной работе авторы выявили тенденцию более высокого генетического разнообразия в дикой популяции по сравнению с домашней, а также высокую степень генетической обособленности обеих форм северного оленя. В выборке диких северных оленей выявили три, а в домашней – пять особей, имеющих смешанное генетическое происхождение. Степень взаимной интрогрессии популяций составила около 6 %. Выявление таких смешанных (помесных) особей северного оленя, несущих в генотипе долю аллелей другой популяции, авторы пояснили периодическим обменом генами между ними по причине документированных фактов неконтролируемой миграции стад диких северных оленей.

В последующем, модернизация данной тест-системы посредством увеличения количества локусов до 14 позволила впервые пред-

ставить данные молекулярно-генетических исследований 15 региональных популяций северных оленей ненецкой породы [42], всех официально утвержденных пород и популяций домашних северных оленей [74], определить индивидуальный уровень гетерозиготности [53] и выполнить поиск ассоциаций между локусами микросателлитов и фенотипическими признаками [52].

Для изучения генетической структуры и степени дифференциации популяций дикого северного оленя, обитающего на территории Российской Федерации, А. И. Баранова и др. [75] применили тест-систему, основанную на мультиплексном ПЦР-анализе 16 STR-маркеров. Авторы детектировали четкое разделение северных оленей материковой части евразийского ареала и арктических островов. Среди материковых оленей были выделены три основные группы: европейской части России; азиатской части; Камчатки. Северные олени азиатской и европейской частей России генетически были более близки друг к другу, чем к оленям Камчатки. Разделение северных оленей восточной части Евразии по отдельным районам обитания (Томская обл., Ханты-Мансийский АО, Таймыр, Якутия и Чукотка) проявлялось достаточно слабо. Выявленную закономерность авторы пояснили свидетельством об их тесном генетическом родстве.

Применение эквивалентного набора микросателлитных локусов позволило также описать генетическую характеристику диких северных оленей и одомашненного северного оленя европейской части России [76]. Авторы не только показали, что каждая из исследованных группировок обладает уникальностью и своеобразием аллельного состава, о чем свидетельствовало высокое число частных аллелей в каждой выборке, но и выявили обособленность генетической структуры каждой группы. Как и в предыдущих исследованиях, в популяциях дикого северного оленя была детектирована доля смешанных генотипов, имеющих в составе аллели, свойственные одомашненным, но их доля, в целом, была невысока.

Внедрение в генетические исследования северных оленей коммерческого набора COrDIS Reindeer (ООО «ГОРДИЗ», Россия) для мультиплексного анализа 16 микросателлитных маркеров позволило исследовать генетическую структуру домашних северных оленей чукотской породы, завезенных в Якутию из Чукотского АО [77], эвенской породы, разво-

димой в Арктической зоне Якутии [78], четырех популяций ненецкой породы [79], а также детектировать высокий и значимый уровень дифференциации между выборками диких и домашних оленей как из одного и того же географического района [80], так и обитающих в различных климатических зонах Российской Федерации [46].

Таким образом, исследования, проведенные с помощью высокополиморфных микросателлитов, позволили ученым разных стран получить важную информацию для лучшего понимания закономерностей генетического разнообразия, процессов интрогрессии и дифференциации различных форм северного оленя, что имеет первостепенное значение для политики сохранения данного вида животных.

Обсуждение применения микросателлитов для реконструкции эволюционной истории, а также в изучении воздействия антропогенных факторов на генетическое разнообразие и генетическую изоляцию популяций северного вида животных.

Применение микросателлитных маркеров способствовало не только описанию внутри- и межвидового разнообразия широко распространенного вида – северного оленя, но и эволюционного потенциала и процессов, которые сформировали это разнообразие. Так, анализ 14 локусов позволил научному коллективу авторов из Канады, Ирландии и США [50] реконструировать историю эволюции разных подвидов *Rangifer tarandus* запада Северной Америки. Исследования авторов предоставили новое понимание о разнообразии карibu, послужившие основой для реструктуризации существующей классификации, которая признает разделение на две основные клады в западной части Северной Америки и отличие северных горных лесных оленей от бореальных и южных форм.

На основании анализа изменчивости 10 микросателлитов, была реконструирована эволюционная история и дана оценка потенциальной роли интрогрессии в эволюции восточного мигрирующего экотипа карibu, обитающего на территории центральной Канады [49]. Обнародованные исследователями результаты трактовались описанием механизма деградации Лаврентийского ледяного щита и колонизацией прибрежных территорий Гудзонова залива после появления лесотундры примерно 7000 лет назад. Кроме этого, выводы авторов в данной работе, в противоположность предыдущей, дополнительно подтверждали суще-

ствующую классификацию подвидов северного оленя Канады.

В дополнении к эволюционным процессам, сигналы генетической дифференциации могут быть обусловлены и влиянием фрагментации среды обитания вида в результате активизации деятельности человека (лесозаготовки, градостроительство и нефтегазовая промышленность), что также может быть проанализировано посредством амплификации STR-маркеров. Так, с помощью девяти микросателлитов Л. М. Томпсон и др. (L. M. Thompson et al.) [54] исследовали пространственные различия в генетическом разнообразии и паттерны генетической дифференциации находящейся под угрозой исчезновения популяции бореального карibu по всему ареалу ее распространения в Канаде, обусловленные изменениями природных ландшафтов вследствие влияния антропогенных факторов.

Кроме того, недавние результаты исследований генетической структуры северных оленей архипелага Шпицберген с использованием подхода ландшафтной генетики и анализа 19 полиморфных микросателлитов выявили, что прошлые и нынешние антропогенные факторы динамики метапопуляций могут оказывать интерактивное воздействие на крупномасштабные экологические и эволюционные процессы [55]. В частности, продолжающаяся потеря морского льда, как коридора для расселения внутри островных систем и между ними, лишь усилит генетическую изоляцию популяций и таким образом поставит под угрозу эволюционный потенциал и выживание арктической дикой природы.

Закключение. Проведенный анализ литературных источников позволил обсудить тенденции применения микросателлитных маркеров для широкого спектра генетических исследований популяций северных оленей. Можно отметить, что преимущества коротких tandemных (простых) повторов позволили исследователям разных стран поставить и решить эквивалентные задачи – не только впервые описать уровень генетического разнообразия различных форм северного оленя, но и определить долю интрогрессии между популяциями, охарактеризовать их структуру, определить степень их дифференциации, детектировать прошлые события гибридизации и понять более детально эволюционную историю вида, что является важным аспектом для разработки стратегий сохранения и управления генетическими ресурсами этого циркумполярного копытного Нового

Света. Несмотря на то, что последние достижения в области высокопроизводительной технологии генотипирования открыли большие перспективы использования однонуклеотидных полиморфизмов для популяционных генетических исследований животных, в том числе и северных оленей, мы предполагаем, что микросателлиты, в связи с более простой процедурой их анализа и низкими экспериментальными затратами, по-прежнему, будут

оставаться востребованными маркерами для генетических исследований одного из самых значимых видов арктических животных. На данный момент микросателлиты изучены и описаны не полностью, что открывает новые возможности для обнаружения их новых свойств и особенностей, что, в свою очередь, приведет к развитию новых областей исследований и практическому применению данного типа маркеров.

References

1. Омашева М. Е., Аубакирова К. П., Рябушкина Н. А. Молекулярные маркеры. причины и последствия ошибок генотипирования. Биотехнология. Теория и практика. 2013;(4):20–28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25612911> EDN: VOMRFP
2. Omasheva M. E., Aubakirova K. P., Ryabushkina N. A. Molecular markers. causes and consequences of genotyping errors. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika*. 2013;(4):20–28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25612911>
3. Кийко Е. И. Принципы маркерной селекции в молочном скотоводстве. Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. 2010;15(1):134–135. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14805077> EDN: MLZMAJ
4. Kiyko E. I. Principle of marker selection in dairy cattle breeding. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: estestvennyye i tekhnicheskie nauki* = Tambov University Reviews Series Natural and Technical Sciences. 2010;15(1):134–135. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14805077>
5. Litt M. A., Luty J. A. Hypervariable microsatellite revealed by in vitro amplification of a dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene. *American Journal of Human Genetics*. 1989;44(3):397–401
6. Tautz D. Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers. *Nucleic Acids Research*. 1989;17(16):6463–6471. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/17.16.6463>
7. Weber J. L., May P. E. Abundant class of human DNA polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. *American Journal of Human Genetics*. 1989;44(3):388–396.
8. Edwards A., Civitello A., Hammond H. A., Caskey C. T. DNA typing and genetic mapping with trimeric and tetrameric tandem repeats. *The American Journal of Human Genetics*. 1991;49(4):746–775.
9. Jeffreys A. J., Royle N. J., Wilson V., Wong Z. Spontaneous mutation rates to new length alleles at tandem-repetitive hypervariable loci in human DNA. *Nature*. 1988;332(6161):278–281. DOI: <https://doi.org/10.1038/332278a0>
10. Abdul-Muneer P. M. Application of microsatellite markers in conservation genetics and fisheries management: recent advances in population structure analysis and conservation strategies. *Genetics Research International*. 2014;2014(1):691759. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/691759>
11. Hoffman J. I., Amos W. Microsatellite genotyping errors: detection approaches, common sources and consequences for paternal exclusion. *Molecular Ecology*. 2005;14(2):599–612. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02419.x>
12. Rajendrakumar P., Biswal A. K., Balachandran S. M., Srinivasarao K., Sundaram R. M. Simple sequence repeats in organellar genomes of rice: frequency and distribution in genic and intergenic regions. *Bioinformatics*. 2007;23(1):1–4. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btl547>
13. Kalia R. K., Rai M. K., Kalia S., Singh R., Dhawan A. K. Microsatellite markers: an overview of the recent progress in plants. *Euphytica*. 2011;177:309–334. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0286-9>
14. Bishop M. D., Kappes S. M., Keele J. W., Stone R. T., Sunden S. L., Hawkins G. A., Toldo S. S., Fries R., Grosz M. D., Yoo J. A genetic linkage map for cattle. *Genetics*. 1994;136(2):619–639. DOI: <https://doi.org/10.1093/genetics/136.2.619>
15. Bishop M. D., Hawkins G. A., Keeler C. L. Use of DNA markers in animal selection. *Theriogenology*. 1995;43(1):61–70. DOI: [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)00018-P](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)00018-P)
16. Peakall R., Gilmore S., Keys W., Morgante M., Rafaske A. Cross-species amplification of soybean (*Glycine max*) simple sequence repeat (SSRs) within the genus and other legume genera: implications for the transferability of SSRs in plants. *Molecular Biology and Evolution*. 1998;15(10):1275–1287. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a025856>
17. Baron E. E., Mário L. M., Verneque R. S., Coutinho L. L. Parentage testing and effect of misidentification on the estimation of breeding value in Gir cattle. *Genetics and Molecular Biology*. 2002;25(4):389–394. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572002000400006>
18. Kuleung C., Baenziger P. S., Dweikat I. Transferability of SSR markers among wheat, rye and triticale. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;108:1147–1150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1532-5>

17. Yang W., Kang X., Yang Q., Lin Y., Fang M. Review on the development of genotyping methods for assessing farm animal diversity. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2013;(4):2.
DOI: <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-2>
18. Tabbasam N., Zafar Y., Mehboob-ur-Rahman. Pros and cons of using genomic SSRs and EST-SSRs for resolving phylogeny of the genus *Gossypium*. *Plant Systematics and Evolution*. 2014;300:559–575.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0891-x>
19. Hasan N., Choudhary S., Naaz N., Sharma N., Laskar R. A. Recent advancements in molecular marker-assisted selection and applications in plant breeding programmes. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2021;19(1):128. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00231-1>
20. Mohindra V., Mishra A., Palanichamy M., Ponniah A. G. Cross-species amplification of *Catla catla* microsatellite locus in *Labeo rohita*. *Indian Journal of Fisheries*. 2001;48(1):103–108.
URL: <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJF/article/view/8492/3463>
21. Carneiro V. M. L., Santini L., Diniz A. L., de Freitas Munhoz C. Microsatellite markers: what they mean and why they are so useful. *Genetics and Molecular Biology*. 2016;39(3):312–328.
DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0027>
22. Pei J., Bao P., Chu M., Liang C., Ding X., Wang H., Wu X., Guo X., Yan P. Evaluation of 17 microsatellite markers for parentage testing and individual identification of domestic yak (*Bos grunniens*). *PeerJ*. 2018;6:e5946. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.5946>
23. Гладырь Е. А., Горелов П. В., Маурчева В. Н., Шахин А. В., Чинаров Ю. И., Зиновьева Н. А. Оценка результативности тест-системы на основе микросателлитов в проведении ДНК-экспертизы крупного рогатого скота. *Достижения науки и техники АПК*. 2011;(8):51–54.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16690837> EDN: OBGJWR
- Gladyr E. A., Gorelov P. V., Maurcheva V. N., Shakhin A. V., Chinarov Yu. I., Zinovieva N. A. Effectiveness evaluation of test-system based on microsatellites for dna expertise in cattle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(8):51–54. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16690837>
24. Zhao J., Zhu C., Xu Z., Jiang X., Yang S., Chen A. Microsatellite markers for animal identification and meat traceability of six beef cattle breeds in the Chinese market. *Food Control*. 2017;78:469–475.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.017>
25. Kang S. W., Lee S. Y., Chio D. H., Kang H. J., Hu M. B., Yang Y. J. Statistical analysis of alleles in 4703 thoroughbred racing horses using fifteen microsatellite DNA markers. *Journal of Animal Science*. 2016;94:88.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas2016.94supplement488x>
26. Калинкова Л. В. Молекулярно-генетическая экспертиза достоверности происхождения племенных лошадей. *Эффективное животноводство*. 2018;(6(145)):70–72.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35554714> EDN: XYLVHZ
- Kalinkova L. V. Molecular genetic examination of the authenticity of the pedigree horses. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018;(6(145)):70–72. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35554714>
27. Зиновьева Н. А., Харзинова В. Р., Логвинова Т. И., Гладырь Е. А., Сизарева Е. И., Чинаров Ю. И. Микросателлитные профили как критерии определения чистопородности и оценки степени гетерогенности подборов родительских пар в свиноводстве. *Сельскохозяйственная биология*. 2011;46(6):47–53.
Zinovieva N. A., Kharzinova V. R., Logvinova T. I., Gladyr' E. A., Sizareva E. I., Chinarov Yu. I. Microsatellite profiles as criteria for confirmation of breed purity and for evaluation of heterogeneity degree of parents' pairs in pig breeding. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2011;46(6):47–53. (In Russ.).
28. Radko A., Podbielska A. Microsatellite DNA Analysis of genetic diversity and parentage testing in the popular dog breeds in Poland. *Genes (Basel)*. 2021;12(4):485. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes12040485>
29. Koskinen M. T., Bredbacka P. Assessment of the population structure of five Finnish dog breeds with microsatellites. *Animal genetics*. 2000;31(5):310–317. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2000.00669.x>
30. Денискова Т. Е., Селионова М. И., Гладырь Е. А., Доцев А. В., Бобрышова Г. Т., Костюнина О. В., Брем Г., Зиновьева Н. А. Изменчивость микросателлитов в породах овец, разводимых в России. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(6):801–810. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27639405> EDN: XGVQYJ
- Deniskova T. E., Selionova M. I., Gladyr' E. A., Dotsev A. V., Bobryshova G. T., Kostyunina O. V., Brem G., Zinovieva N. A. Variability of microsatellites in sheep breeds raced in Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2016;51(6):801–810. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27639405>
31. Weising K., Winter P., Huttel B., Kahl G. Microsatellite markers for molecular breeding. *Journal of Crop Production*. 1997;1(1):113–143. DOI: https://doi.org/10.1300/j144v01n01_06
32. Røed K. H., Ferguson K. H., Crête M. A. D., Bergerud T. A. Genetic variation in transferrin as a predictor for differentiation and evolution of caribou from eastern Canada. *Rangifer*. 2010;11:65–74.
DOI: <https://doi.org/10.7557/2.11.2.979>
33. Zhai J. C., Liu W. S., Yin Y. J., Xia Y. L., Li H. P. Analysis on genetic diversity of reindeer (*Rangifer tarandus*) in the Greater Khingan Mountains using microsatellite markers. *Zoological Studies*. 2017;56:e11.
DOI: <https://doi.org/10.6620/ZS.2017.56-11>

34. Крутикова А. А., Пегливанян Г. К. Динамика убойной массы домашних северных оленей полуострова Ямал в зависимости от половой и возрастной принадлежности. Международный научно-исследовательский журнал. 2023;(12(138)). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.28> EDN: VYCUDF
Krutikova A. A., Peglivanyan G. K. Dynamics of slaughter weight of domestic reindeer of Yamal peninsula depending on gender and age. International Research Journal. 2023;(12(138)). (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.28>
35. Gordon B. Rangifer and man: An ancient relationship. Rangifer. 2003;23(14):15–28.
DOI: <https://doi.org/10.7557/2.23.5.1651>
36. Харзинова В. Р., Денискова Т. Е., Сермягин А. А., Доцев А. В., Соловьева А. Д., Зиновьева Н. А. Эволюция методов оценки биоразнообразия северного оленя (*Rangifer tarandus*) (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2017;52(6):1083–1093. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1083rus> EDN: YLSUZR
Kharzinova V. R., Deniskova T. E., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Solovieva A. D., Zinovieva N. A. Evolution of the methods for estimation biodiversity in reindeer (*Rangifer tarandus*) (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(6):1083–1093. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1083rus>
37. Брызгалов Г. Я., Игнатович Л. С. Селекционно-племенная работа в северном оленеводстве (к смене парадигмы развития). Генетика и разведение животных. 2021;(4):29–36.
DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-4-29-36> EDN: OOKGFF
Brizgalov G., Ignatovich L. Selection and breeding work in northern reindeer husbandry (to change the development paradigm). *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2021;(4):29–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2021-4-29-36>
38. Hall R. J. Deer. In: Cockett N. E., Kole C. (eds) Genome mapping and genomics in domestic animals. Genome mapping and genomics in animals. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. Vol. 3. Chapter 4.
DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73835-0>
39. Polziehn R. O., Strobeck C. Phylogeny of wapiti, red deer, sika deer, and other North American cervids as determined from mitochondrial DNA. Molecular Phylogenetics and Evolution. 1998;10(2):249–258.
DOI: <https://doi.org/10.1006/mpev.1998.0527>
40. Ludt C. J., Schroeder W., Rottmann O., Kuehn R. Mitochondrial DNA phylogeography of red deer (*Cervus elaphus*). Molecular phylogenetics and evolution. 2004;31(3):1064–1083. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2003.10.003>
41. Cote S. D., Dallas J. F., Marshall F., Irvine R. J., Langvatn R., Albon S. D. Microsatellite DNA evidence for genetic drift and philopatry in Svalbard reindeer. Molecular Ecology. 2002;11(10):1923–1930.
DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2002.01582.x>
42. Deniskova T. E., Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Solovieva A. D., Romanenko T. M., Yuzhakov A. A., Layshev K. A., Brem G., Zinovieva N. A. Genetic characteristics of regional populations of Nenets reindeer breed (*Rangifer tarandus*). Agricultural Biology. 2018;53(6):1152–1161. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1152eng>
43. Ju Y., Liu H., Rong M., Zhang R., Dong Y., Zhou Y., Xing X. Genetic diversity and population genetic structure of the only population of Aoluguya Reindeer (*Rangifer tarandus*) in China. Mitochondrial DNA. Part A, DNA mapping, sequencing, and analysis. 2019;30(1):24–29. DOI: <https://doi.org/10.1080/24701394.2018.1448081>
44. Anderson D. G., Kvie K. S., Davydov V. N., Røed K. H. Maintaining genetic integrity of coexisting wild and domestic populations: Genetic differentiation between wild and domestic *Rangifer* with long traditions of intentional interbreeding. Ecology and Evolution. 2017;7(17):6790–6802. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3230>
45. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Kramarenko A. S., Layshev K. A., Romanenko T. M., Solov'eva A. D., Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Brem G., Zinovieva N. A. Study of the allele pool and the degree of genetic introgression of semidomesticated and wild populations of reindeer (*Rangifer tarandus* L., 1758) using microsatellites. Agricultural Biology. 2016;51:811–834. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.811eng>
46. Svishcheva G. R., Babayan O. V., Sipko T. P., Kashtanov S. N., Kholodova M. V., Stolpovsky Y. A. Genetic differentiation between coexisting wild and domestic reindeer (*Rangifer tarandus* L. 1758) in Northern Eurasia. Genetic Resources. 2022;3(6):1–14. URL: <https://www.genresj.org/index.php/grj/article/view/genresj.UYML5006>
47. Røed K. H., Flagstad O., Nieminen M., Holand O., Dwyer M. J., Røv N., Vilà C. Genetic analyses reveal independent domestication origins of Eurasian reindeer. Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences. 2008;275(1645):1849–1855. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0332>
48. Colson K. E., Mager K. H., Hundertmark K. J. Reindeer introgression and the population genetics of caribou in southwestern Alaska. Journal of Heredity. 2014;105(5):585–596. DOI: <https://doi.org/10.1093/jhered/esu030>
49. Klütsch C. F., Manseau M., Trim V., Polfus J., Wilson P. J. The eastern migratory caribou: the role of genetic introgression in ecotype evolution. Royal Society Open Science. 2016;3(2):150469.
DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.150469>
50. Weckworth B. V., Musiani M., McDevitt A. D., Hebblewhite M., Mariani S. Reconstruction of caribou evolutionary history in Western North America and its implications for conservation. Molecular Ecology. 2012;21(14):3610–3624. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05621.x>

51. Доцев А. В., Романенко Т. М., Харзинова В. Р., Соловьева А. Д., Лайшев К. А., Брем Г., Зиновьева Н. А. Фенотипические и генотипические особенности популяций северного оленя ненецкой породы. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(6):1175–1183. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1175rus> EDN: YLSVDD
- Dotsev A. V., Romanenko T. M., Kharzinova V. R., Solovieva A. D., Layshev K. A., Brem G., Zinovieva N. A. Study of phenotypic and genotypic features of reindeer populations of the nenets breed. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(6):1175–1183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1175rus>
52. Kharzinova V. R., Karpushkina T. V., Dotsev A. V., Solovieva A. D., Romanenko T. M., Brem G., Zinovieva N. A. 213 Association of microsatellite profile with phenotypic traits of semi-domesticated reindeer. Journal of Animal Science. 2017;95(Suppl. 4):105. DOI: <https://doi.org/10.2527/asasann.2017.213>
53. Dotsev A. V., Kharzinova V. R., Romanenko T. M., Brem G., Nikitkina E. V., Zinovieva N. A. PSVIII-22 Microsatellite-based heterozygosity fitness correlations in reindeer. Journal of Animal Science. 2019;97(Suppl. 3):266. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.541>
54. Thompson L. M., Klütsch C. F. C., Manseau M., Wilson P. J. Spatial differences in genetic diversity and northward migration suggest genetic erosion along the boreal caribou southern range limit and continued range retraction. Ecology and Evolution. 2019;9(12):7030–7046. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5269>
55. Peeters B., Le Moullec M., Raeymaekers J. A. M., Marquez J. F., Røed K. H., Pedersen Å. Ø., Veiberg V., Loe L. E., Hansen B. B. Sea ice loss increases genetic isolation in a high Arctic ungulate metapopulation. Global change biology. 2020;26(4):2028–2041. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14965>
56. Muneer P. M. A., Gopalakrishnan A., Shivanandan R., Basheer V. S., Ponniah A. G. Genetic variation and phylogenetic relationship between two species of yellow catfish, *Horabagrus brachysoma* and *H. nigricollaris* (Teleostei: Horabagridae) based on RAPD and microsatellite markers. Molecular Biology Reports. 2011;38(4):2225–2232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-010-0352-3>
57. Sudheer P. D. V. N., Mastan S. G., Rahman H., Ravi Prakash C., Singh S., Reddy M. P. Cross species amplification ability of novel microsatellites isolated from *Jatropha curcas* and genetic relationship with sister taxa: cross species amplification and genetic relationship of *Jatropha* using novel microsatellites. Molecular Biology Reports. 2011;38(2):1383–1388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-010-0241-9>
58. Kim K. S., Min M. S., An J. H., Lee H. Cross-species amplification of Bovidae microsatellites and low diversity of the endangered Korean goral. Journal of Heredity. 2004;95(6):521–525. DOI: <https://doi.org/10.1093/jhered/esh082>
59. Yasodha R., Ghosh M., Sumathi R., Gurumurthi K. Cross-species amplification of eucalyptus SSR markers in Casuarinaceae. Acta Botanica Croatica. 2005;64(1):115–120. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/5717>
60. Котова С. А., Заблочкая Е. А., Спивак Е. А., Рыбакова В. И., Недзвецкая Д. Э., Цыбовский И. С. Перекрестная амплификация микросателлитных ДНК маркеров в исследовании полиморфизма видов отряда *Artiodactyla* (парнокопытные). Молекулярная и прикладная генетика. 2017;22:25–33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29328279> EDN: YRUOHH
- Kotova S. A., Zablotskaya E. A., Spivak E. A., Rybakova V. I., Nedzvetskaya D. E., Tsybovskiy I. S. Cross-amplification of microsatellite dna-markers in species polymorphism investigations of the order *Artiodactyla*. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*. 2017;22:25–33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29328279>
61. Engel S. R., Linn R. A., Taylor J. F., Davis S. K. Conservation of microsatellite loci across species of Artiodactyls: implications for population studies. Journal of Mammalogy. 1996;77(2):504–518. DOI: <https://doi.org/10.2307/1382825>
62. Wilson G. A., Strobeck C., Wu L., Coffin J. W. Characterization of microsatellite loci in caribou *Rangifer tarandus*, and their use in other artiodactyls. Molecular ecology. 1997;6(7):697–699. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1997.00237.x>
63. Røed K. H., Midtjell L. Microsatellites in reindeer, *Rangifer tarandus*, and their use in other Cervids. Molecular ecology. 1998;7(12):1773–1776. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00514.x>
64. Cronin M. A., MacNeil M. D., Patton J. C. Mitochondrial DNA and microsatellite DNA variation in domestic reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) and relationships with wild caribou (*Rangifer tarandus granti*, *Rangifer tarandus groenlandicus*, and *Rangifer tarandus caribou*). Journal of Heredity. 2006;97(5):525–530. DOI: <https://doi.org/10.1093/jhered/esl012>
65. Mager K. H., Colson K. E., Hundertmark K. J. High genetic connectivity and introgression from domestic reindeer characterize northern Alaska caribou herds. Conservation Genetics. 2013;14(6):1111–1123. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-013-0499-2>
66. Jepsen B. I., Siegmund H. R., Fredholm M. Population genetics of the native caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) and the semi-domestic reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in Southwestern Greenland: evidence of introgression. Conservation Genetics. 2002;3:401–409. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020523303815>
67. Kharzinova V. R., Gladyr E. A., Fedorov V. I., Romanenko T. M., Shimit L. D., Layshev K. A., Kalashnikova L. A., Zinovieva N. A. Development of multiplex microsatellite panel to assess the parentage verification in and differentiation degree of reindeer populations (*Rangifer tarandus*). Agricultural Biology. 2015;50(6):756–765. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756eng>

68. Кошкина О. А., Соловьева А. Д., Денискова Т. Е., Харзинова В. Р., Зиновьева Н. А. Изучение генетического разнообразия домашних и диких популяций северного оленя (*Rangifer tarandus* L., 1758) с использованием маркеров ядерного и митохондриального геномов. Сельскохозяйственная биология. 2022;57(6):1101–1116. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1101rus> EDN: KOSGBP

Koshkina O. A., Solovieva A. D., Deniskova T. E., Kharzinova V. R., Zinovieva N. A. Study of the genetic diversity of domestic and wild reindeer (*Rangifer tarandus* L., 1758) populations using nuclear and mitochondrial genomic markers. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(6):1101–1116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1101rus>

69. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Solovieva A. D., Fedorov V. I., Brem G., Zinovieva N. A. Estimation of biodiversity and population structure of Russian reindeer (*Rangifer tarandus*) breeds inhabiting Northeastern Siberia (Republic of Sakha – Yakutia) using microsatellite markers. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*. 2016;19(3):87–92. DOI: <https://doi.org/10.15414/afz.2016.19.03.87-92>

70. Соловьева А. Д., Харзинова В. Р., Денискова Т. Е., Зиновьева Н. А. Исследование генетической структуры домашних и диких северных оленей Республики Саха (Якутия) с использованием STR-анализа. Генетика и разведение животных. 2022;(3):5–11. DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-3-5-11> EDN: DAWAMX

Solovieva A., Kharzinova V., Deniskova T., Zinovieva N. Study of the genetic structure of domestic and wild reindeer in the Republic of Sakha (Yakutia) using STR analysis. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2022;(3):5–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2022-3-5-11>

71. Романенко Т. М., Харзинова В. Р., Лайшев К. А. Сравнительная характеристика микропопуляций северных оленей ненецкой породы малоземельской тундры НАО. Генетика и разведение животных. 2020;(2):37–43. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43162320> EDN: HFQSLZ

Romanenko T. M., Kharzinova V. R., Layshev K. A. Characteristics of micropopulation of the nenets reindeer of malozemelskaya tundra NAO. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2020;(2):37–43. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43162320>

72. Николаев С. В., Матюков В. С., Филатов А. В. Изменения микросателлитного профиля в опытном стаде северных оленей ненецкой породы. Международный вестник ветеринарии. 2023;(3):275–283. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.3.275> EDN: AGZUPJ

Nikolaev S. V., Matyukov V. S., Filatov A. V. Changes in the microsatellite profile in an experimental herd of nenets reindeer. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii* = International Bulletin of Veterinary Medicine. 2023;(3):275–283. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.3.275>

73. Харзинова В. Р., Кудрявцев А. В., Семерикова М. Н., Зиновьева Н. А. Изучение популяционной структуры и генетического разнообразия чукотской породы северного оленя на основе анализа микросателлитов. Достижения науки и техники АПК. 2023;37(9):87–92. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_9_87 EDN: VBESRE

Kharzinova V. R., Kudryavtsev A. V., Semerikova M. N., Zinovieva N. A. Study of the population structure and genetic diversity of the chukotka reindeer breed based on the microsatellites analysis. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2023;37(9):87–92. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_9_87

74. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Solovieva A. D., Fedorov V. I., Shimit L. D., Romanenko T. M., Senchik A. V., Sergeeva O. K., Goncharov V. V., Layshev K. A., Yuzhakov A. A., Brem G., Zinovieva N. A. PSIII-15 Genetic variability of Russian domestic reindeer populations (*Rangifer Tarandus*) by microsatellites. *Journal of Animal Science*. 2020;98(Suppl.4):237–238. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.435>

75. Баранова А. И., Холодова М. В., Сипко Т. П. Генетическая структура дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) России на основании полиморфизма микросателлитных локусов. Актуальные вопросы современной зоологии и экологии животных: мат-лы Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию юбилею кафедры «Зоология и экология» Пензенского государственного университета и памяти профессора В. П. Денисова (1932–1997). Пенза: Пензенский государственный университет; 2016. С. 21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xexeel&ysclid=lwaieypffc136387386> EDN: XEXEEL

Baranova A. I., Kholodova M. V., Sipko T. P. The genetic structure of the wild reindeer (*Rangifer tarandus*) Russia on the basis of polymorphism of microsatellite loci. Topical issues of modern zoology and ecology of animals: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 70th anniversary of the Department of Zoology and Ecology of Penza State University and the memory of Professor V. P. Denisov (1932–1997). Penza: Penzenskiy GU, 2016. pp. 21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xexeel&ysclid=lwaieypffc136387386>

76. Холодова М. В., Баранова А. И. Изучение генетического разнообразия северного оленя европейской части России, значение результатов для теории и практики. Лесной северный олень - проблемы и перспективы сохранения на европейском севере России: сб. ст. Под общ. ред. Н. Шматкова. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2021. С. 17–19. DOI: https://doi.org/10.47364/9785604736210_17 EDN: FJGEIX

Kholodova M. V., Baranova A. I. The study of the genetic diversity of reindeer in the European part of Russia, the significance of the results for theory and practice. Forest reindeer - problems and prospects of conservation in the European north of Russia: collection of articles. *Pod obshch. red. N. Shmatkova*. Moscow: *Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF)*, 2021. pp. 17–19. DOI: https://doi.org/10.47364/9785604736210_17

77. Додохов В. В., Павлова Н. И., Калашникова Л. А. Полиморфизм микросателлитных локусов ДНК у оленей чукотской породы. Аграрный научный журнал. 2020;(9):49–53.

DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp49-53> EDN: THWKGL

Dodokhov V. V., Pavlova N. I., Kalashnikova L. A. Polymorphism of DNA microsatellite among chukotka reindeer. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(9):49–53. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp49-53>

78. Филиппова Н. П., Корякина Л. П., Павлова А. И. Изучение аллелофонда эвенской породы северного оленя по локусам трансферрина и микросателлитов. Генетика и разведение животных. 2020;(1):44–49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42672645> EDN: FJVBWW

Filippova N. P., Koryakina L. P., Pavlova A. I. Assessment of genetic structure of reindeer of the even breed. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2020;(1):44–49. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42672645>

79. Семина М. Т., Каштанов С. Н., Бабаян О. В., Лайшев К. А., Южаков А. А., Воронкова В. Н., Николаева Э. А., Свищёва Г. Р. Анализ генетического разнообразия и популяционной структуры ненецкой аборигенной породы северных оленей на основе микросателлитных маркеров. Генетика. 2022;58(8):954–966.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016675822080069> EDN: TLCNGQ

Semina M. T., Kashtanov S. N., Babayan O. V., Layshev K. A., Yuzha-kov A. A., Voronkova V. N., Nikolae-va E. A., Svishcheva G. R. Analysis of the genetic diversity and population structure of the nenets native breed of reindeer based on microsatellite markers. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2022;58(8):954–966. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016675822080069>

80. Столповский Ю. А., Бабаян О. В., Каштанов С. Н., Пискунов А. К., Сёмина М. Т., Холодова М. В., Лайшев К. А., Южаков А. А., Романенко Т. М., Лисичкина М. Г., Дмитриева Т. И., Етылина О. В., Прокудин А. В., Свищёва Г. Р. Генетическая оценка пород северного оленя (*Rangifer tarandus*) и их дикого предка с помощью новой панели STR-маркеров. Генетика. 2020;56(12):1410–1426.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016675820120139> EDN: YCPKAN

Stolpovskiy Yu. A., Babayan O. V., Kashtanov S. N., Piskunov A. K., Semina M. T., Kholodova M. V., Layshev K. A., Yuzhakov A. A., Romanenko T. M., Lisichkina M. G., Dmitrieva T. I., Etylina O. V., Prokudin A. V., Svishcheva G. R. Genetic evaluation of the breeds of reindeer (*Rangifer tarandus*) and their wild ancestor using a new panel of str markers. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2020;56(12):1410–1426. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016675820120139>

Сведения об авторах

✉ Харзинова Вероника Руслановна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ДНК-технологий в животноводстве, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, e-mail: info@vij.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8067-0404>, e-mail: veronika0784@mail.ru

Зиновьева Наталия Анатольевна, академик РАН, профессор, доктор биол. наук, директор, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, e-mail: info@vij.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

Information about the authors

✉ Veronika R. Kharzinova, PhD in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of DNA technologies in animal husbandry, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk, Moscow region, Russian Federation, 142132, e-mail: info@vij.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8067-0404>, e-mail: veronika0784@mail.ru

Natalia A. Zinovieva, academican of RAS, professor, DSc in Biological Science, Director, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk, Moscow region, Russian Federation, 142132, e-mail: info@vij.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4017-6863>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.538-550>



УДК 633.11 «321»:632.4:631.526.32 (571.1) (574.2)

Адаптивная селекция пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области

© 2024. И. А. Белан, Л. П. Россеева, М. Е. Мухордова✉, Н. П. Блохина, И. В. Пахотина, Я. В. Мухина, Н. С. Пугачева
ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация

В статье отражены результаты испытания 13 сортообразцов пшеницы мягкой яровой селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» в питомнике конкурсного сортоиспытания 2020–2022 гг. Согласно группам спелости дана характеристика по фенотипическим признакам, устойчивости к листовым болезням и качеству зерна. Выделены сортообразцы по урожайности, фактору стабильности (S.F.) и размаху урожайности (d), с более слабой изменчивостью (CV), которые превышают стандарты и характеризуются самым высоким уровнем реализации потенциала продуктивности. В среднеспелой группе отобраны сортообразцы Лютеценс 83/14-3, Лютеценс 205/12-5, среднепоздней – Лютеценс 15/16-17, обеспечивающие формирование стабильно высокого урожая зерна, качества зерна, устойчивость к грибным патогенам независимо от условий внешней среды. Определены параметры экологической пластичности сортообразцов по урожайности зерна и выделены наиболее адаптивные – Лютеценс 83/14-3 ($b_i = 1,16$, $S_d^2 = 0,02$) и Лютеценс 205/12-5 ($b_i = 1,09$, $S_d^2 = 0,03$). Полученные результаты исследований позволили передать на ГСИ сорта Омская крепость 2 (Лютеценс 205/12-5) и Омская крепость 5 (Лютеценс 83/14-3). Методом ПЦР получен генетический профиль переданных сортов по определенным ДНК-маркерам.

Ключевые слова: сортообразец, устойчивость к заболеваниям, качество зерна, урожайность, засуха, ДНК-маркеры

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № FNUN-2022-0026).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Белан И. А., Россеева Л. П., Мухордова М. Е., Блохина Н. П., Пахотина И. В., Мухина Я. В., Пугачева Н. С. Адаптивная селекция пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):538–550. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.538-550>

Поступила: 24.04.2024

Принята к публикации: 10.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Adaptive breeding of soft spring wheat for the conditions of Western Siberia and the Omsk region

© 2024. Igor A. Belan, Lyudmila P. Rosseeva, Maria E. Mukhordova✉, Natalia P. Blokhina, Irina V. Pakhotina, Yaroslava V. Mukhina, Natalia S. Pugacheva
Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation

The article provides the results of testing 13 soft spring wheat variety samples of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk ASC" in the competitive variety testing nursery in 2020–2022. According to the ripeness groups, characteristics is given according to phenotypic traits, resistance to leaf diseases and grain quality. Variety samples have been identified based on yield, stability factor (S.F.) and yield range (d), with weaker variability (CV), which exceed standards and are characterized by the highest level of realization of productivity potential. In medium-ripeness group the following variety samples have been selected: Lutescens 83/14-3, Lutescens 205/12-5, in mid-late maturity group – Lutescens 15/16-17, which ensure the formation of a consistently high grain yield, grain quality, and resistance to fungal pathogens, regardless of the environmental conditions. The parameters of ecological plasticity of variety samples according to grain yield were determined and the most adaptive ones in this set were identified – Lutescens 83/14-3 ($b_i = 1.16$, $S_d^2 = 0.02$) and Lutescens 205/12-5 ($b_i = 1.09$, $S_d^2 = 0.03$). The obtained research results made it possible to transfer the cultivars 'Omskaya krepost' 2' (Lutescens 205/12-5) and 'Omskaya krepost' 5' (Lutescens 83/14-3) to the state variety testing. Using the PCR method, a genetic profile of the transferred cultivars was obtained using certain DNA markers.

Keywords: variety sample, disease resistance, grain quality, yield, drought, DNA markers

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Omsk Agrarian Scientific Center (theme No. FNUN-2022-0026).

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: Belan I. A., Rosseeva L. P., Mukhordova M. E., Blokhina N. P., Pakhotina I. V., Mukhina Ya. V., Pugacheva N. S. Adaptive breeding of soft spring wheat for the conditions of Western Siberia and the Omsk region. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):538–550. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.538-550>

Received: 24.04.2024

Accepted for publication: 10.07.2024

Published online: 28.08.2024

Пшенице принадлежит одно из ведущих мест в зерновом балансе России. Высокая изменчивость погодных условий, а также биотических факторов во многих регионах приводит к снижению роста валовых сборов зерна этой культуры. Выведение и внедрение в производство новых высокопродуктивных, высококачественных сортов, которые могут максимально реализовать свой генетический потенциал при стрессовых факторах среды – одна из приоритетных задач селекции. В настоящее время основными направлениями селекции являются создание сортов пшеницы с повышенной урожайностью, адаптированных к контрастным погодным условиям, с высоким качеством зерна и устойчивых к неблагоприятным биотическим факторам среды [1, 2, 3].

Сочетание повышенных показателей хозяйственно ценных признаков в одном генотипе достигается планомерной селекционной работой – от подбора исходного материала для включения в гибридизацию до выделения лучших сортообразцов в питомнике КСИ, используя комплекс методов для анализа полученных данных [4, 5].

Цель исследований – проанализировать сортообразцы пшеницы мягкой яровой конкурсного сортоиспытания по параметрам вегетационного периода, высоты растений, устойчивости к листовостебельным патогенам, качества зерна, урожайности в условиях Омской области (Западно-Сибирский регион). Идентифицировать гены (*Lr*, *Sr*, *Glu-1*, *Rht8*, *Ppd-1*) и отобрать лучшие сортообразцы по хозяйственно ценным признакам для передачи сортов на ГСИ.

Научная новизна – комплексная оценка адаптивного потенциала сортообразцов питомника конкурсного сортоиспытания (КСИ) пшеницы мягкой яровой в условиях южной лесостепи Омской области; оценка устойчивости к листовостебельным заболеваниям и качества зерна; выявление ПЦР-анализом аллелей коротко-

стебельности, высокомолекулярных глютенинов, генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам. Переданы на ГСИ два сорта и описан их генетический профиль по определенным ДНК-маркерам.

Материал и методы. Исследования выполняли на полях лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ» в зоне южной лесостепи Омской области. Почва опытного участка лугово-черноземная среднесиловатая с тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, содержание гумуса около 6 % (по Тюрину)¹, подвижного фосфора – 135 мг/кг и обменного калия (по Чирикову)² – 190 мг/кг в слое 0–20 см, рН_{сол} = 6,5³.

Объектом исследований служили сорта-стандарты и 13 сортообразцов пшеницы мягкой яровой. В зависимости от длины вегетационного периода генотипы поделены на две группы спелости: среднеспелые (стандарт Дуэт) и среднепоздние (стандарт Элемент 22). В среднеспелой группе спелости изучали 8, среднепоздней – 5 сортообразцов, которые созданы путем скрещивания перспективных селекционных линий. В родословных этих сортообразцов имеются сорта: Омская 37 с пшенично-ржаной 1RS.1BL и пшенично-пырейной 7DL-7Ai транслокациями (в которой сегмент хромосомы 7Ai принадлежит *Agropyron elongatum* Lr19+Sr25) [6], Уралосибирская, Уралосибирская 2, Тарская юбилейная [7, 8], Семеновна [9], Омская 43 [10], Омская 44 [11]. Устойчивость к бурой ржавчине сорта Омская 44 обеспечивается сочетанием генов *Lr19*, *Lr26*, *Lr1* и *Lr3* [12]; Памяти Майстренко с интрогрессией генетического материала от синтетического гексаплоида *Triticum Timopheevii* Zhuk. х *Aegilops tauschii* Coss [13], сорта твердой пшеницы – Харьковская 46 и Омский кристалл, а также коллекционные образцы – Gr 06600 (Норвегия), Rang (к-47098, Швеция) и Kolibri (к-46609, Германия).

¹ГОСТ 26213-21. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

²ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1992. 10 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/7f6/4294828275.pdf>

³ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

Посев питомника КСИ по яровой мягкой пшенице в течение трех лет проводили сеялкой ССФК-7М, деланки с учетной площадью 10 м², повторность 4-кратная, норма высева 5,5 млн всх. семян на гектар. При уборке урожая использовали малогабаритный селекционно-семеноводческий комбайн WINTERSTEIGER-BIM.

Наблюдения и учётывали проводили по общепринятой методике⁴. Поражаемость изучаемых форм в полевых условиях мучнистой росой (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) определяли по Саари, Пресскотт (E. E. Saari, J. M. Prescott)⁵ бурой (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) и стеблевой (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) ржавчинами – по международной шкале⁶. Учеты проводили в динамике 3–5 раз через 7 суток с начала проявления заболеваний до восковой спелости. Для сортообразцов, задерживающих развитие патогенов, рассчитывали площадь под кривой развития заболеваний (ПКРВ) и индекс устойчивости (ИУ) (0,10÷0,35 – высокий уровень устойчивости; 0,36÷0,65 – средний; 0,66÷0,80 – низкий; > 0,80 – восприимчивость)⁷.

Статистическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову⁸ с использованием пакета программ STATISTICA 10.0.

С целью объективной оценки и ранжирования сортообразцов по урожайности рассчитывали показатели: реализация потенциала продуктивности, % (среднее значение/максимальное значение); фактор стабильности (S.F.) (максимальное значение/минимальное значение); размах урожайности (d), % (максимальное значение – минимальное значение) / максимальное значение * 100)⁹. Для расчета параметров экологической пластичности сорта использована наиболее распространенная методика Эберхарта, Рассела (S. A. Eberhart, W. A. Russell, 1996) в изложении В. А. Зыкина и др.¹⁰.

Для идентификации генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам, аллелям генов фотопериода и короткостебельности использовали методы молекулярной генетики [14].

Технологические свойства определяли в лаборатории качества зерна. Оценивали по показателям: натура (ГОСТ 10840-2017¹¹); количество клейковины (ГОСТ Р 54478-2011¹²); содержание белка (ИК-анализатор ИнфраЛюм ФТ-12). Реологические свойства теста изучали на приборах Farinograf ТМ и AlveoLab. Определение хлебопекарных свойств проводили безопасным методом с интенсивным замесом теста по методике Госкомиссии.

Погодные условия в годы исследований были нестабильными, что позволило достаточно объективно провести анализ сортообразцов по показателям вегетационного периода, высоте растений и урожайности. Сухими по увлажнению характеризовались 2020 и 2021 гг. (ГТК = 0,59 и 0,60 соответственно), засушливым – 2022 г. (ГТК = 1,00). По месяцам метеопредусловия сложились контрастными. В течение трех лет май характеризовался сухой погодой (ГТК < 0,5), июнь – засушливой (ГТК – от 0,74 до 1,00), июль – очень засушливой в 2020 г. (ГТК = 0,20) и засушливой в 2021 г. (ГТК = 0,51), влажной в 2022 г. (ГТК = 1,90), август – засушливой во все годы (ГТК = 0,70–0,87).

Ежегодно наблюдали поражение растений мучнистой росой, восприимчивые сорта были поражены на 60–100 %. Развитие патогенов бурой и стеблевой ржавчинами отмечено только в 2020 г. со II декады июля по I декаду августа, этому способствовали обильные росы. Погодные условия 2021 и 2022 гг. были неблагоприятными для ржавчинных заболеваний.

⁴Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. М., 1988. 121 с.

⁵Saari E. E., Prescott J. M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. Plant Disease reporter. 1975;59:377–380.

⁶Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах членов СЭВ. Прага, 1988. 321 с.

⁷Коваленко Е. Д., Коломиец Т. М., Киселева М. И., Жемчужина А. И., Смирнова Л. А., Щербик А. А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации ВНИИФ. М., 2012. 93 с.

⁸Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.

⁹Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Сравнительный анализ нового сорта яровой мягкой пшеницы Арсея с районированными сортами. Зерновое хозяйство России. 2022;(1(79)):30–34.

DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-30-34> EDN: LZXXMZ

¹⁰Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Кираев Р. С., Чанышев И. О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений: методика и оценка. Уфа, 2011. 96 с.

¹¹ГОСТ 10840-2017. Зерно. Методы определения натуры. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.

URL: <https://direct.farm/content/0bb/0bb7be486c1142f19c490f6edfdebe1b4377680.pdf>

¹²ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице.

М.: Стандартинформ, 2012. 23 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792307.pdf>

Результаты и их обсуждение. В настоящее время селекционерами созданы сорта с потенциальной урожайностью более 6,0 т/га, однако в производственных условиях генетический потенциал сортов реализуется только на 25–35 %, что связано со стрессовыми факторами среды и агротехнической оснащенностью [15]. Для максимальной реализации генетического потенциала урожайности в ФГБНУ «Омский АНЦ» создаются сорта пшеницы мягкой яровой разных групп спелости с высоким качеством зерна, устойчивые к стрессовым факторам среды Омской области [16].

На селекционных полях в течение последних 16 лет (2007–2022 гг.) листостебельные заболевания проявлялись практически каждый год (рис. 1). Поражение растений по сорту-индикатору Памяти Азиева мучнистой росой и бурой ржавчиной (от 70 до 100 %) отмечали

9 раз (в 56 % случаев за период наблюдений). Частота вспышек заболевания стеблевой ржавчиной зарегистрирована 6 раз с 2015 до 2020 гг. (38 %), в эти годы у стандарта Дуэт отмечена очень высокая восприимчивость (100 %) к этому патогену. Сорт-стандарт Дуэт (ген *Lr9*) характеризуется устойчивостью к бурой ржавчине, но в отдельные годы (2007 г.) в популяции патогена выявлено наличие вирулентных патотипов (p9), что привело к его поражению на 100 % [17]. В последние годы сорта и линии с геном *Lr9* проявили высокую устойчивость к возбудителю этого заболевания [18]. Поэтому при создании устойчивых сортов необходимо использовать ген резистентности *Lr9* в комбинации с другими генами устойчивости. В засушливые годы (2021 и 2022 гг.) на посевах развития ржавчинных заболеваний не наблюдали.

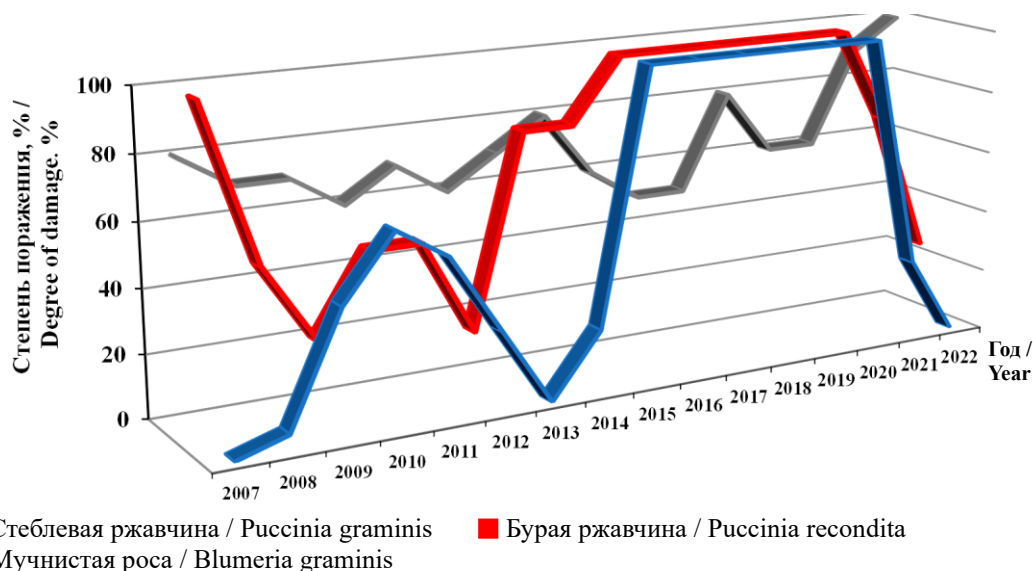


Рис. 1. Степень поражения листостебельными патогенами пшеницы мягкой яровой, % (сорт-индикатор Памяти Азиева, 2007–2022 гг.) /

Fig. 1. Degree of damage of soft spring wheat by leaf-stem pathogens, % (indicator cultivar 'Pamyati Azieva', 2007–2022)

Мониторинг сортообразцов в питомнике КСИ позволил выделить лучшие генотипы с комплексом ценных селекционных признаков. Данные результатов испытания сортообразцов в двух группах спелости по вегетационному периоду, высоте растений, характеризующиеся высокой устойчивостью к ржавчинным патогенам и разным уровнем устойчивости к мучнистой росе в полевых условиях 2020 г., представлены в таблице 1.

В группе среднеспелых сортообразцов самым коротким периодом вегетации в 2020 г. характеризовался стандарт Дуэт (75 суток),

восприимчивый к стеблевой ржавчине, в 2021 и 2022 гг. продолжительность его вегетационного периода составила 82 и 81 сутки соответственно. У выделенных сортообразцов, характеризующихся устойчивостью к ржавчинным патогенам ($IY = 0,05 \dots 0,27$), период вегетации изменялся от 77 до 85 суток. Высота растений во многом зависела от условий выращивания. В 2020 г. сортообразцы были высокорослыми, в среднем 115 см (размах значений 105–120 см), в 2021 г. средняя высота растений равнялась 108 см (105–110 см), 2022 г. – 98 см (95–105 см). Такие результаты хорошо согласуются с вели-

чиной межфазных периодов. В 2020 г. период «всходы-колошение» сложился самым продолжительным (45 суток), в это время происходит интенсивный рост корней и стеблей, период «колошение-восковая спелость» – коротким (35 суток). В 2021 г. период «всходы-колошение» был на 1 день короче (44 сутки), «колошение-восковая спелость» на 5 суток продолжи-

тельнее (40 суток), в 2022 г. период «всходы-колошение» был на 4 суток короче (41 сутки), «колошение-восковая спелость» на 5 суток длиннее (40 суток). Среди среднеспелых сортов образцов за годы изучения коротким вегетационным периодом (от 77 до 81 суток) характеризовался сортобразец Лютесценс 83/14-3 (высота растений от 95 до 115 см).

Таблица 1 – Результаты изучения сортобразцов пшеницы мягкой яровой в питомнике конкурсного сортоиспытания (2020–2022 гг.) /

Table 1 – Results of the study of soft spring wheat variety samples in the nursery of competitive variety testing (2020–2022)

| Сортобразец / Variety sample | Вегетационный период, сутки / Vegetation period, days | | Высота растений, см / Plant height, cm | | ИУ ¹ / SI ¹ | | |
|---|---|--------------------|--|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | среднее / average | лимиты / limits | среднее | лимиты / limits | мучнистая роса / powdery mildew | бурая ржавчина / brown rust | стеблевая ржавчина / stem rust |
| Среднеспелая группа спелости / Medium-ripeness group | | | | | | | |
| Дуэт, ст. / 'Duet', st. | 79 | 75÷82 | 100 | 90÷115 | 0,6 | 0 | 1,0 |
| Лютесценс 7/10-5 / Lutescens 7/10-5 | 81 | 80÷81 | 107 | 100÷115 | 0,6 | 0,1 | 0,1 |
| Лютесценс 15/10-4 / Lutescens 15/10-4 | 82 | 82÷82 | 110 | 105÷115 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| Лютесценс 83/14-3 / Lutescens 83/14-3 | 79 | 77÷81 | 103 | 95÷115 | 0,4 | 0,1 | 0,2 |
| ДГ. 50-23 / DG. 50-23 | 80 | 78÷82 | 112 | 105÷120 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Лютесценс 205/12-5 / Lutescens 205/12-5 | 81 | 79÷82 | 108 | 100÷115 | 0,8 | 0,1 | 0,1 |
| Лютесценс 242/13-10 / Lutescens 242/13-10 | 83 | 81÷85 | 105 | 95÷115 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Лютесценс 243/13-4 / Lutescens 243/13-4 | 81 | 79÷83 | 107 | 95÷120 | 0,9 | 0,3 | 0,2 |
| Лютесценс 87/16-2 / Lutescens 87/16-2 | 83 | 81÷85 | 103 | 95÷110 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| Среднее / Average | 81 | - | 107 | - | - | - | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 2 | - | 7 | - | - | - | - |
| Среднепоздняя группа спелости / Mid-late maturity group | | | | | | | |
| Элемент 22, ст. / 'Element 22', st. | 87 | 84÷88 | 95 | 85÷100 | 0,8 | 0,2 | 0,2 |
| Лютесценс 15/10-1-24 / Lutescens 15/10-1-24 | 85 | 83÷86 | 108 | 105÷110 | 0,6 | 0,2 | 0,2 |
| Лютесценс 152/10-5 / Lutescens 152/10-5 | 85 | 83÷86 | 105 | 95÷110 | 0,5 | 0,2 | 0,1 |
| Лютесценс 224/13-1 / Lutescens 224/13-1 | 85 | 82÷87 | 115 | 105÷125 | 0,7 | 0,4 | 0,1 |
| Лютесценс 15/16-17 / Lutescens 15/16-17 | 84 | 82÷87 | 113 | 105÷120 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| Лютесценс 188/16-9 / Lutescens 188/16-9 | 85 | 82÷88 | 112 | 105÷115 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |
| Среднее / Average | 85 | - | 108 | - | - | - | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 2 | - | 8 | - | - | - | - |

Примечания: ¹ИУ – индекс устойчивости. Уровни устойчивости: высокий – от 0,10 до 0,35; средний – от 0,36 до 0,65; низкий – от 0,66 до 0,80 и восприимчивость >80 /

Notes: ¹SI – is the stability index. Resistance levels: high – from 0.10 to 0.35; medium – from 0.36 to 0.65; low – from 0.66 to 0.80 and susceptibility >80.

В группе среднепоздних сортообразцов в 2020 г. самым продолжительным вегетационным периодом характеризовался стандарт Элемент 22 (84 суток), который показал высокий уровень устойчивости к стеблевой ржавчине, в 2021 и 2022 гг. его продолжительность составила 88 суток. У выделенных сортообразцов, характеризующихся устойчивостью к ржавчинным патогенам ($IY = 0,08-0,35$), средний за три года период вегетации варьировал от 84 до 88 суток. В 2020 г. период «всходы-колошение» был самым продолжительным (47 суток), а «колошение-восковая спелость» самым коротким (36 суток). В 2021 и 2022 гг. период «колошение-восковая спелость» был продолжительнее на 6 суток периода «всходы-колошение». Высота растений также зависела от условий выращивания. Так, в 2020 г. сортообразцы были высокорослыми, в среднем 116 см (110–120 см), в 2021 и 2022 г. средняя высота растений составила 101 и 99 см соответственно. Такие результаты хорошо согласуются с величиной периода «всходы-колошение». Одним из наиболее важных показателей в селекции, определяющим хозяйственную ценность сортообразцов, является их урожайность, которая за годы исследований значительно варьировала и зависела как от метеорологических условий, так и устойчивости к заболеваниям.

Наиболее высокая урожайность у сортообразцов, независимо от группы спелости, отмечена в 2020 г. – в среднем 6,06 т/га (5,22–7,27 т/га). В 2021 г. средняя урожайность составила 5,16 т/га (3,99–6,09 т/га). Наиболее низкой урожайностью выделился 2022 г. – 3,31 т/га (2,46–4,27 т/га), что на 2,75 т/га ниже в сравнении с 2020 г.

В 2022 г. погодные условия оказывали существенное влияние на урожайность. Засушливые условия отмечены в мае ($ГТК = 0,40$), июне ($ГТК = 1,00$), I и II декадах июля ($ГТК = 0,45$ и $0,62$ соответственно). В III декаде июля выпали обильные осадки (96,1 мм, $ГТК = 4,20$), которые не способствовали повышению урожайности.

В среднеспелой группе сортообразцы Лютесценс 83/14-3 и Лютесценс 205/12-5 за годы изучения превысили стандарт Дуэт на 2,07 и 1,94 т/га соответственно. В 2020 г. у этих сортообразцов максимальная прибавка урожайности к сорту-стандарту составила 4,42 и 4,23 т/га соответственно при урожайности стандарта Дуэт – всего 2,09 т/га, что связано с эпифитотийным развитием патогена стеблевой ржавчины, о чем свидетельствует показатель корреляционной связи ($r = -0,95 \pm 0,16$). В годы отсутствия развития ржавчинных патогенов урожайность стандарта составила 4,36 и 3,08 т/га соответственно. Однако в 2021 г. выделенные сортообразцы

имели урожайность свыше 5 т/га, в 2022 г. сортообразец Лютесценс 205/12-5 (3,58 т/га) превысил стандарт Дуэт (3,18 т/га) на 0,40 т/га, а Лютесценс 83/14-13 (3,65 т/га) – на 0,47 т/га ($НСР_{05} = 0,39$). За годы изучения сортообразец Лютесценс 205/12-5 характеризовался высокой урожайностью – 5,11 т/га, коэффициент вариации продуктивности (CV) составил 27,3 %, фактор стабильности (S.F.) – 1,8, размах урожайности (d) – 43,3 % при высоком уровне реализации потенциала продуктивности – 80,9 %. Повышенной урожайностью обладал и сортообразец Лютесценс 83/14-13 (5,24 т/га) – CV = 27,8 %, S.F. = 1,7, d = 43,9 %, уровень реализации потенциала продуктивности – 80,5 %.

В группе среднепоздних сортообразцов в период массового развития стеблевой ржавчины (2020 г.) отобранные генотипы превысили по урожайности стандарт на 0,93–2,64 т/га. Среди них Лютесценс 15/16-17 за годы изучения превысил стандарт Элемент 22 на 1,82 т/га. Следует отметить, что урожайность сорта-стандарта характеризовалась средним варьированием (CV = 20,2 %), реализация потенциала продуктивности составила 87,6 %. Сортообразцы Лютесценс 15/16-17 и Лютесценс 188/16-9 обладали повышенным уровнем адаптивности. В группе среднепоздних Лютесценс 15/16-17 (урожайность 5,88 т/га) отличался более высоким уровнем потенциальной продуктивности 80,8 %, а также имел меньшую изменчивость этого признака (CV = 25,8 %) и значения фактора стабильности (S.F. = 1,70), однако размах урожайности (d = 41,3 %) был выше, чем у стандарта.

По результатам испытаний (2020–2022 гг., табл. 2) определены параметры, характеризующие реализацию потенциала продуктивности и степень экологической вариабельности урожайности сортообразцов и выделены наиболее адаптивные – Лютесценс 83/14-3, Лютесценс 205/12-5, Лютесценс 242/13-10, Лютесценс 15/16-17 и Лютесценс 188/16-9.

Определение параметров экологической пластичности сорта позволяет дать ему всестороннюю оценку, выявить степень его адаптивности и объективно охарактеризовать сорт.

Расчет параметров пластичности проведен по группам спелости в течение трех лет испытания по паровому предшественнику. Три среднеспелых сорта – Лютесценс 83/14-3, Лютесценс 205/12-5, Лютесценс 242/13-10 и два среднепоздних – Лютесценс 15/16-17 и Лютесценс 188/16-9 обладали высокой отзывчивостью на улучшение условий возделывания и стабильностью к изменяющимся условиям.

Таблица 2 – Показатели урожайности и стабильности сортообразцов пшеницы мягкой яровой, питомник КСИ (2020–2022 гг.) /

Table 2 – Indicators of yield and stability of soft spring wheat variety samples, competitive variety testing nursery (2020–2022)

| Сортообразец / Variety sample | Урожайность, т/га / Yield, t/ha | | CV, % | Реализация потенциала продуктивности, % / Realizing The potential of productivity, % | Фактор стабильности (S.F.) / The stability factor (S.F.) | Размах урожай- ности (d), % / The range of productivity, (d), % |
|---|------------------------------------|--------------------|-------|---|--|--|
| | среднее / average | лимиты / limits | | | | |
| Среднеспелая группа спелости / Medium-ripeness group | | | | | | |
| Дуэт, ст. / ‘Duet’, st. | 3,18 | 2,09÷4,36 | 35,8 | 72,9 | 2,1 | 52,0 |
| Лютесценс 7/10-5 / Lutescens 7/10-5 | 5,03 | 3,70÷6,22 | 25,1 | 80,9 | 1,7 | 40,5 |
| Лютесценс 15/10-4 / Lutescens 15/10-4 | 4,92 | 3,71÷5,67 | 21,5 | 86,7 | 1,5 | 34,6 |
| Лютесценс 83/14-3 / Lutescens 83/14-3 | 5,24 | 3,65÷6,51 | 27,8 | 80,5 | 1,7 | 43,9 |
| ДГ. 50-23 / DG. 50-23 | 4,29 | 2,76÷5,22 | 31,2 | 82,2 | 1,9 | 47,1 |
| Лютесценс 205/12-5 / Lutescens 205/12-5 | 5,11 | 3,58÷6,32 | 27,3 | 80,9 | 1,8 | 43,3 |
| Лютесценс 242/13-10 / Lutescens 242/13-10 | 4,88 | 3,20÷5,86 | 29,9 | 83,2 | 1,8 | 45,3 |
| Лютесценс 243/13-4 / Lutescens 243/13-4 | 4,63 | 3,21÷5,57 | 27,0 | 83,2 | 1,7 | 42,3 |
| Лютесценс 87/16-2 / Lutescens 87/16-2 | 4,49 | 3,26÷5,53 | 25,5 | 81,2 | 1,7 | 41,0 |
| Среднее / Average | 4,82 | - | - | - | - | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,39 | - | - | - | - | - |
| Среднепоздняя группа спелости / Mid-late maturity group | | | | | | |
| Элемент 22, ст. / ‘Element 22’, st. | 4,06 | 3,12÷4,63 | 20,2 | 87,6 | 1,5 | 32,7 |
| Лютесценс 15/10-1-24 / Lutescens 15/10-1-24 | 4,79 | 2,87÷6,59 | 38,9 | 72,6 | 2,3 | 56,4 |
| Лютесценс 152/10-5 / Lutescens 152/10-5 | 4,23 | 2,81÷5,56 | 32,6 | 76,1 | 2,0 | 49,5 |
| Лютесценс 224/13-1 / Lutescens 224/13-1 | 4,10 | 2,46÷5,84 | 41,3 | 70,2 | 2,4 | 57,8 |
| Лютесценс 15/16-17 / Lutescens 15/16-17 | 5,88 | 4,27÷7,27 | 25,8 | 80,8 | 1,7 | 41,3 |
| Лютесценс 188/16-9 / Lutescens 188/16-9 | 5,39 | 3,55÷6,63 | 30,2 | 81,3 | 1,9 | 46,5 |
| Среднее / Average | 4,37 | - | - | - | - | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,43 | - | - | - | - | - |

По результатам испытаний приводим параметры экологической пластичности сортообразцов: Лютесценс 83/14-3 ($b_i = 1,16$, $S_d^2 = 0,02$); Лютесценс 205/12-5 ($b_i = 1,09$, $S_d^2 = 0,03$); Лютесценс 242/13-10 ($b_i = 1,15$, $S_d^2 = 0,11$); Лютесценс 15/16-17 ($b_i = 1,19$, $S_d^2 = 0,009$); Лютесценс 188/16-9 ($b_i = 1,29$, $S_d^2 = 0,02$). Параметры экологической пластичности сортов-стандартов – Дуэт ($b_i = 0,17$, $S_d^2 = 0,25$); Элемент 22 – ($b_i = 0,65$, $S_d^2 = 0,02$).

По результатам проведенного ПЦР-анализа перспективных сортообразцов пшеницы мягкой яровой было установлено, что сорто-

образцы Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 188/16-9 имеют в своем генотипе аллель *Rht8b* (174 пн), что указывает на среднестебельность. Сортообразцы Лютесценс 242/13-10 и Лютесценс 15/16-17 имеют в своем генотипе аллель дикого типа *Rht8a* (165 пн). Наличие аллеля *Rht8c* в генотипе Лютесценс 83/14-3 свидетельствует о короткостебельности сортообразца. Однако этот признак, возможно, контролируется и другими генами *Rht*, поэтому планируется дополнительное исследование. Изучаемые генотипы также были протестированы на фотонейтральность (гены *Ppd-1*). Во всех испытуемых

сортаобразцах в геноме А была детектирована аллель нечувствительности *Ppd-A1a* (338 пн), геноме В целевой аллели (*Ppd-B1a* (1600 пн) не выявлено. Три перспективные линии имели в генетическом профиле гетерозиготное состояние аллелей *Ppd-D1*, которые не проявляли максимальную экспрессию, Лютесценс 242/13-10 содержал в своем генотипе аллель чувствительности к фотопериоду (*Ppd-D1b*), а сортаобразец Лютесценс 83/14-3 – аллель нечувствительности (*Ppd-D1a*). В связи с этим мы можем говорить, что анализируемые комбинации адаптированы к региону Западной Сибири [19, 20].

Сортаобразцы были диагностированы и на наличие аллельных состояний локусов генов качества клейковины *Glu-1*. По всем трем геномам данные образцы показали присутствие аллелей высокомолекулярных глютелинов,

ассоциированных с высоким качеством зерна и имели набор аллелей *Glu-A1b*, *Glu-B1b*, *Glu-D1d*. Такое сочетание субъединиц ВМСГ указывает на то, что изучаемые сортаобразцы могут являться донорами высокого хлебопечкарного качества.

Идентификация перспективных линий на наличие генов *Sr25*, *Sr31* и *Sr32* показала (рис. 2), что сортаобразцы Лютесценс 205/12-5, Лютесценс 242/13-10 и Лютесценс 15/16-17 имели в своих геномах сочетание сразу двух транслокаций – пшенично-ржаную 1RS.1BL с генами устойчивости *Lr26/Sr31* и пшенично-пырейную 7DL-7Ai с генами *Lr19/Sr25*. Лютесценс 188/16-9 и Лютесценс 83/14-3 содержали плеяду генов *Lr26/Sr31* (транслокация – пшенично-ржаная 1RS.1BL). Ген *Sr32* идентифицирован во всех вышеперечисленных генотипах.

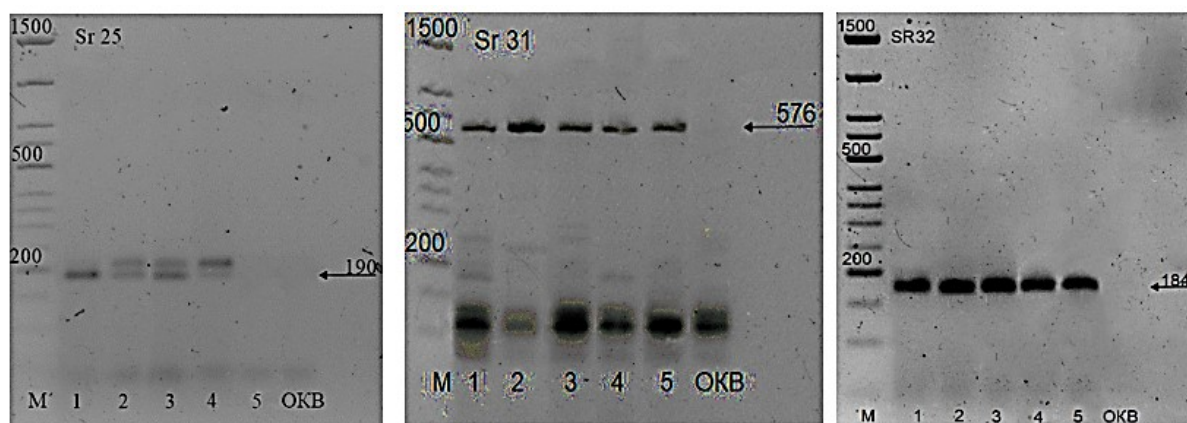


Рис. 2. Определение генов *Sr* у сортаобразцов пшеницы мягкой яровой: М – маркер молекулярного веса; 1 – Лютесценс 205/12-5; 2 – Лютесценс 242/13-10; 3 – Лютесценс 15/16-17; 4 – Лютесценс 188/16-9; 5 – Лютесценс 83/14-3; ОКВ – отрицательный контроль /

Fig. 2. Determination of alleles *Sr* genes in soft spring wheat variety samples: М – marker of molecular weight; 1 – Lutescens 205/12-5; 2 – Lutescens 242/13-10; 3 – Lutescens 15/16-17; 4 – Lutescens 188/16-9; 5 – Lutescens 83/14-3; NC – negative control

В наших исследованиях получен генетический профиль следующих сортаобразцов. Лютесценс 83/14-3 (сорт Омская крепость 5): *Ppd-A1a*, *Ppd-D1a*, *Rht8c*, *Lr26/Sr31*, *Sr32*, *Glu-A1b*, *Glu-B1b*, *Glu-D1a*. Лютесценс 205/12-5 (сорт Омская крепость 2): *Ppd-A1a*, *Ppd-D1a*, *Ppd-D1b*, *Rht8b*, *Lr19/Sr25*, *Lr26/Sr31*, *Sr32*, *Glu-A1b*, *Glu-B1b*, *Glu-D1d*.

Оценка хлебопечкарного качества по комплексу показателей в соответствии с общепринятыми классификационными нормами Госкомиссии и национальными стандартами в среднеспелой группе выявила сортаобразцы Лютесценс 7/10-5, Лютесценс 71/10-5 и

Лютесценс 83/14-3 с натурой зерна на уровне 3-го класса (не менее 730 г/л) ГОСТ 9353-2016¹³ и ценной пшеницы – не менее 730 г/л (ГОСТ 34702-2020¹⁴), (табл. 3.). Лютесценс 15/10-4 превысил стандарт по содержанию белка в зерне на 0,60 абс.%. По хлебопечкарным свойствам он был на уровне ценной пшеницы и превысил стандарт по силе муки на 95 10-4J, объему хлеба – на 182 см³. Сортаобразец Лютесценс 83/14-3 отличался реологическими свойствами теста уровня сильной пшеницы (сила муки 379 10-4J, разжижение 26 е. ф., валориметрическая оценка 77 е. в.) и хорошим качеством хлеба с объемом булки 1030 см³.

¹³ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 15 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293751/4293751950.pdf>

¹⁴ГОСТ 34702-2020. Пшеница хлебопечкарная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/744/74446.pdf>

Таблица 3 – Хлебопекарные качества сортообразцов пшеницы мягкой яровой, питомник КСИ (2020–2022 гг.). /
 Table 3 – Baking quality of variety samples of soft spring wheat, competitive variety testing nursery (2020–2022)

| Сортообразец / Variety sample | Натура, г/л / Natura, g/l | Белок, % / Protein, % | Клейковина, % / Gluten, % | Хлебопекарная сила теста, 10-4J / Dough baking strength (W), 10-4J | Размягчение, е. ф. / Dough softening, f. e. | Валориметрическая оценка, е. в. / Valorimeter estimation, v. e. | Объем хлеба, см³/100 г / Loaf volume, cm³/ 100 g |
|---|------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|--|--|--|
| Требования к зерну сильной пшеницы (нормы Госкомиссии) / Requirements for strong wheat grain (State Commission standards) | | | | | | | |
| Не менее / No less | - | 14,0 | 28,0 | 280 | Не более 60 / Not more than 60 | 70 | 1200 |
| Требования к зерну ценной пшеницы (нормы Госкомиссии) / Requirements for valuable wheat grain (State Commission standards) | | | | | | | |
| Не менее / Not less | - | 13,0 | 25,0 | 260 | Не более 80 / Not more than 80 | 55 | 1000 |
| Дуэт / 'Duet' | 761 | 16,72 | 36,3 | 328 | 30 | 75 | 913 |
| Лютесценс 7/10-5 / Lutescens 7/10-5 | 735 | 16,55 | 31,8 | 460 | 20 | 85 | 1145 |
| Лютесценс 15/10-4 / Lutescens 15/10-4 | 720 | 17,34 | 33,2 | 423 | 40 | 84 | 1095 |
| Лютесценс 71/10-5 / Lutescens 71/10-5 | 736 | 17,04 | 31,5 | 409 | 45 | 78 | 1005 |
| Лютесценс 83/14-3 / Lutescens 83/14-3 | 747 | 15,39 | 29,1 | 379 | 26 | 77 | 1030 |
| Лютесценс 205/12-5 / Lutescens 205/12-5 | 750 | 16,72 | 31,9 | 500 | 10 | 84 | 1080 |
| Лютесценс 242/13-10 / Lutescens 242/13-10 | 752 | 16,96 | 35,4 | 485 | 25 | 86 | 1080 |
| ДГ. 50-23 / DG. 50-23 | 730 | 19,98 | 38,4 | 618 | 60 | 73 | 860 |
| Лютесценс 87/16-2 / Lutescens 87/16-2 | 726 | 19,27 | 35,6 | 459 | 5 | 88 | 1200 |
| Среднее / Average | 744 | 17,93 | 35,5 | 478 | 26 | 81 | 1027 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 11,6 | 1,22 | 1,8 | 205,6 | 16,4 | 5,2 | 105,9 |
| Элемент 22 / 'Element 22' | 767 | 17,17 | 39,8 | 208 | 93 | 57 | 720 |
| Лютесценс 15/16-17 / Lutescens 15/16-17 | 748 | 15,80 | 28,4 | 306 | 10 | 91 | 845 |
| Лютесценс 188/16-9 / Lutescens 188/16-9 | 726 | 16,27 | 31,5 | 459 | 30 | 81 | 1100 |
| Лютесценс 152/10-5 / Lutescens 152/10-5 | 706 | 17,60 | 30,5 | 485 | 5 | 88 | 1060 |
| Среднее / Average | 737 | 16,71 | 32,6 | 365 | 35 | 79 | 931 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 18,1 | 0,74 | 3,5 | 118,3 | 26,5 | 10,9 | 119,2 |

Кроме этого, необходимо отметить сортообразец Лютесценс 87/16-2 с хлебопекарным качеством на уровне хорошего улучшителя. Он был выше стандарта Дуэт по содержанию белка в зерне на 2,6 абс.% и объему хлеба на 287 см³. Дигамлоид ДГ 50-23, отличаясь максимально упругим (132 мм) и сильным по качеству тестом (618 10-4J), по объему хлеба отмечен на уровне стандарта. Сортообразцы Лютесценс 205/12-5 и 242/13/10 с натурой зерна 1-го класса (не менее 750 г/л) выгодно отличались более

упругим тестом на 33–41 мм и объемом хлеба на 167 см³ выше стандарта Дуэт.

В среднепоздней группе стандарт Элемент 22 достоверно превысил изучаемые образцы по натуре зерна и содержанию в нем белка. По другим хлебопекарным качествам лучшим в этой группе показал себя Лютесценс 188/16-9 с высокими реологическими свойствами теста и максимальным объёмом хлеба. Генотип Лютесценс 15/16-17 превысил стандарт по объему хлеба на 125 см³.

Заключение. В результате проведенных исследований в конкурсном сортоиспытании 2020–2022 гг., в различные по метеорологическим условиям годы, средняя урожайность сортообразцов составила: в среднеспелой группе – 4,82 т/га, превысив стандарт Дуэт на 1,65 т/га; среднепоздней – 4,37 т/га, на уровне стандарта Элемент 22 – 4,06 т/га.

Изученные сортообразцы характеризуются высоким уровнем устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам (ИУ<0,35). К мучнистой росе высокий уровень устойчивости проявили ДГ 50-23 и Лютесценс 15/16-17.

ПЦР-анализом установлено: наличие аллеля *Rht8c* в генотипе Лютесценс 83/14-3, что свидетельствует о его короткостебельности; все генотипы показали присутствие аллелей высокомолекулярных глютенинов, ассоциированных с высоким качеством зерна; устойчивость к бурой и стеблевой ржавчинам у сортообразцов Лютесценс 205/12-5, Лютесценс 242/13-10 и Лютесценс 15/16-17 детерминирована двумя транслокациями – пшенично-ржаной 1RS.1BL (*Lr26/Sr31*) и пшенично-пырейной 7DL-7Ai (*Lr19/Sr25*), Лютесценс 188/16-9 и Лютесценс 83/14-3 – пшенично-ржаной 1RS.1BL. Ген *Sr32* идентифицирован во всех вышеперечисленных генотипах.

Оценка хлебопекарных качеств показала: среднеспелый сортообразец Лютесценс 83/14-3 отличался реологическими свойствами теста уровня сильной пшеницы (упругость 88 мм, сила муки 379 10-4J, сбалансированность теста 0,88,

разжижение 26 е. ф., валориметрическая оценка 77 е. в.) и хорошим качеством хлеба с объемом булки 1030 см³; сортообразцы Лютесценс 205/12-5 и Лютесценс 242/13/10 с натурой зерна 1-го класса выгодно отличались от стандарта Дуэт более упругим тестом на 33–41 мм и объемом хлеба на 167 см³; среднепоздний сортообразец Лютесценс 15/16-17 превысил стандарт Элемент 22 по объему хлеба на 125 см³.

Отобранные среднеспелые сортообразцы: устойчивый к ржавчинным патогенам Лютесценс 205/12-5 по урожайности превышает стандарт Дуэт на 1,94 т/га, передан на ГСИ под названием «Омская крепость 2»; с высоким уровнем устойчивости к листостебельным патогенам Лютесценс 83/14-3 по урожайности превышает стандарт Дуэт на 2,07 т/га, передан на ГСИ под названием «Омская крепость 5»; среднепоздний Лютесценс 15/16-17 созревает на 3 суток раньше стандарта Элемент 22, превышает его по урожайности на 1,82 т/га, устойчивый к листостебельным патогенам, является кандидатом для передачи на ГСИ и рекомендуется для использования в гибридизации в качестве родительской формы.

По результатам испытаний (2020–2022 гг.) определены параметры экологической пластичности сортообразцов: Лютесценс 83/14-3 ($b_i = 1,16$, $S_d^2 = 0,02$); Лютесценс 205/12-5 ($b_i = 1,09$, $S_d^2 = 0,03$); Лютесценс 242/13-10 ($b_i = 1,15$, $S_d^2 = 0,11$); Лютесценс 15/16-17 ($b_i = 1,19$, $S_d^2 = 0,009$); Лютесценс 188/16-9 ($b_i = 1,29$, $S_d^2 = 0,02$).

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции. Зерновое хозяйство России. 2016;(3):31–37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26642951> EDN: WLASMV
2. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В., Болдырев М. А. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(1):38–47. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-38-47> EDN: FBPVLW
3. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):58–65. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65> EDN: FTMXHZ
4. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В., Драгавцев В. А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье). Сельскохозяйственная биология. 2022;57(1):81–97. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.81rus> EDN: DAYGED
5. Хлесткина Е. К., Журавлева Е. В., Пшеничникова Т. А., Усенко Н. И., Морозова Е. В., Осипова С. В., Пермякова М. Д., Афонников Д. А., Отмахова Ю. С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):501–514. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.501rus> EDN: YZKVHR
6. Белан И. А., Россеева Л. П., Россеев В. М., Бадаева Е. Д., Зеленский Ю. И., Блохина Н. П., Шепелев С. С., Першина Л. А. Изучение хозяйственно ценных и адаптивных признаков у линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих транслокации 1RS.1BL и 7DL-7Ai. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012;16(1):178–186. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17854560&ysclid=lv4medbdoa10186028> EDN: PASMSL

7. Гулятьева Е. И., Шайдаюк Е. Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы. Биотехнология и селекция растений. 2021;4(2):15–27. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-o2> EDN: TUXHWY
8. Гулятьева Е. И., Шайдаюк Е. Л., Рсалиев А. С. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов яровой мягкой пшеницы Российской и Казахской селекции. Вестник защиты растений. 2019;3(101):41–49. DOI: [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-41-49](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49) EDN: FLCIMH
9. Белан И. А., Федоренко Е. Н., Россеева Л. П., Мухордова М. Е., Игнатъева Е. Ю. Перспективный сорт пшеницы мягкой яровой Семеновна – результат международного сотрудничества. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):46–57. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57> EDN: BJYEAT
10. Кузьмин О. Г., Чурсин А. С., Моргунов А. И., Шепелев С. С., Пожерукова В. Е. Селекционная оценка сортов 18-го Казахстанско-Сибирского питомника в условиях южной лесостепи Омской области. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019;1(33):11–21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37367916> EDN: AIEDAN
11. Гулятьева Е. И., Шайдаюк Е. Л., Веселова В. В., Смирнова Р. Е., Зуев Е. В., Хакимова А. Г., Митрофанова О. П. Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):208–218. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-208-218> EDN: TORIUF
12. Рсалиев А. С., Гулятьева Е. И., Шайдаюк Е. Л., Коваленко Н. М., Молдажанова Р. А., Пахратдинова Ж. У. Характеристика устойчивости перспективных образцов яровой мягкой пшеницы к листовым болезням. Биотехнология и селекция растений. 2019;2(2):14–23. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-2-14-23> EDN: HVFOBG
13. Лайкова Л. И., Белан И. А., Бадаева Е. Д., Россеева Л. П., Шепелев С. С., Шумный В. К., Першина Л. А. Создание и изучение сорта яровой мягкой пшеницы Памяти Майстренко с интрогрессией генетического материала от синтетического гексаплоида *Triticum timopheevii* Zhuk. × *Aegilops tauschii* Coss. Генетика. 2013;49(1):103. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675813010062> EDN: PNQOBZ
14. Мухордова М. Е., Белан И. А., Россеева Л. П. Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы мягкой яровой в Омском аграрном научном центре. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(6):5–10. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_6_5 EDN: YQVBXH
15. Юшкевич Л. В., Ющенко Д. Н., Щитов А. Г., Кашинская С. П. Повышение продуктивности и качества зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири. Вестник КрасГАУ. 2023;(11(200)):73–79. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-73-79> EDN: DIOXPU
16. Белан И. А., Россеева Л. П., Блохина Н. П., Григорьев Ю. П., Мухина Я. В., Трубаев Н. В., Першина Л. А. Ресурсный потенциал сортов пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):449–465. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465> EDN: NTNDZB
17. Мешкова Л. В., Россеева Л. П., Коренюк Е. А., Белан И. А. Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины, вирулентного к сортам пшеницы с геном Lr9 в Омской области. Микология и фитопатология. 2012;46(6):397–400. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18208670&ysclid=lv4mbkj7zw765929453> EDN: PILZAP
18. Мешкова Л. В., Россеева Л. П., Зверовская Т. С., Сабаева О. Б., Белан И. А. Вирулентность природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Омской области. Успехи современного естествознания. 2018;(11-2):279–283. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36939> EDN: YQOMGL
19. Ригин Б. В., Зуев Е. В., Матвиенко И. И., Андреева А. С. Молекулярное маркирование генов *Vrn*, *Ppd* и реакция на яровизацию ультраскороспелых линий яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. Биотехнология и селекция растений. 2021;4(3):26–36. DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-3-o2> EDN: HBCIZQ
20. Калыбекова Ж. Т. Аллельное разнообразие генов, контролирующих реакцию на яровизацию и чувствительность к фотопериоду среди сортов яровой мягкой пшеницы различного географического происхождения (обзор). Труды по прикладной ботанике генетике и селекции. 2019;180(4):177–185. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-177-185> EDN: NIPOUB

References

1. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2016;(3):31–37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26642951>
2. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V., Boldyrev M. A. Yield, plasticity, stability and homeostasis of spring barley cultivars in the Non-black earth region. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2022;183(1):38–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-38-47>
3. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):58–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>

4. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtsev V. A. A novel integrative approach to study the dynamics of an increase in common spring wheat adaptivity and homeostaticity (on the example of breeding programs in the Northern Trans-Ural). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(1):81–97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.81rus>
5. Khlestkina E. K., Zhuravleva E. V., Pshenichnikova T. A., Usenko N. I., Morozova E. V., Osipova S. V., Permyakova M. D., Afonnikov D. A., Otmakhova Yu. S. Modern opportunities for improving quality of bakery products via realizing the bread wheat genetic potential-by-environment interactions (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):501–514. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.501rus>
6. Belan I. A., Rosseeva L. P., Rosseev V. M., Badaeva E. D., Zelenskiy Yu. I., Blokhina N. P., Shepelev S. S., Pershina L. A. Examination of adaptive and agronomic characters in lines of common wheat 'Omskaya 37' bearing translocations 1RS.1BL and 7DL-7AL. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(1):178–186. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17854560&ysclid=lv4medbdoa10186028>
7. Gulyaeva E. I., Shaydayuk E. L. Identification of leaf rust resistance genes in the new Russian varieties of common wheat. *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2021;4(2):15–27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-o2>
8. Gulyaeva E. I., Shaydayuk E. L., Rsaliev A. S. Identification of leaf rust resistance genes in spring soft wheat samples developed in Russia and Kazakhstan. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2019;3(101):41–49. (In Russ.). DOI: [http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-41-49](http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49)
9. Belan I. A., Fedorenko E. N., Rosseeva L. P., Mukhordova M. E., Ignatieva E. Yu. The perspective soft spring wheat variety 'Semenovna' is the result of international cooperation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):46–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57>
10. Kuz'min O. G., Chursin A. S., Morgunov A. I., Shepelev S. S., Pozherukova V. E. Breeding assessment of the 18th Kazakhstan-Siberian nursery varieties in the conditions of the south forest-steppe of Omsk region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2019;1(33):11–21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37367916>
11. Gulyaeva E. I., Shaydayuk E. L., Veselova V. V., Smirnova R. E., Zuev E. V., Khakimova A. G., Mitrofanova O. P. Diversity of new russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2022;183(4):208–218. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-208-218>
12. Rsaliev A. S., Gulyaeva E. I., Shaydayuk E. L., Kovalenko N. M., Moldazhanova R. A., Pahratdinova Z. U. Characteristic of perspective common spring wheat accessions for resistance to foliar diseases. *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2019;2(2):14–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-2-14-23>
13. Laykova L. I., Belan I. A., Badaeva E. D., Rosseeva L. P., Shepelev S. S., Shumnyy V. K., Pershina L. A. Development and study of spring bread wheat variety 'Pamyati Maystrenko' with introgression of genetic material from synthetic hexaploid *Triticum timopheevii* Zhuk. × *Aegilops tauschii* Coss. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2013;49(1):103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675813010062>
14. Mukhordova M. E., Belan I. A., Rosseeva L. P. The use of molecular markers in the breeding of soft spring wheat at the Omsk agricultural scientific centre. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(6):5–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_6_5
15. Yushkevich L. V., Yushchenko D. N., Shchitov A. G., Kashinskaya S. P. Increasing productivity and grain quality of spring wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2023;(11(200)):73–79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-73-79>
16. Belan I. A., Rosseeva L. P., Blokhina N. P., Grigoriev Yu. P., Mukhina Ya. V., Trubacheeva N. V., Pershina L. A. Resource potential of soft spring wheat varieties for the conditions of Western Siberia and Omsk region (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(4):449–465. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465>
17. Meshkova L. V., Rosseeva L. P., Korenyuk E. A., Belan I. A. Dynamics of distribution of the wheat leaf rust pathotypes virulent to the cultivars with Lr9 gene in Omsk region. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2012;46(6):397–400. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18208670&ysclid=lv4mbkj7zw765929453>
18. Meshkova L. V., Rosseeva L. P., Zverovskaya T. S., Sabaeva O. B., Belan I. A. Virulence of natural population of the pathogen brown rust wheat in the Omsk region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018;(11-2):279–283. (In Russ.). URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36939>
19. Rigin B. V., Zuev E. V., Matvienko I. I., Andreeva A. S. Molecular labeling of Vrn, Ppd genes and vernalization response of the ultra-early lines of spring bread wheat *Triticum aestivum* L. *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy* = Plant Biotechnology and Breeding. 2021;4(3):26–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-3-o2>

20. Kalybekova Zh. T. Allelic diversity of genes controlling responses to vernalization and photoperiod among spring bread wheat varieties of diverse geographic origin. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019;180(4):177-185. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-177-185>

Сведения об авторах

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

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

✉ **Мухордова Мария Евгеньевна**, кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5788-2409>, e-mail: mukhordova@anc55.ru

Блохина Наталья Павловна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1857-9893>

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

Мухина Ярослава Вячеславовна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0952-6696>

Пугачева Наталья Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-5476>

Information about the authors

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

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

✉ **Maria E. Mukhordova**, PhD in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, Head of the Laboratory, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5788-2409>, e-mail: mukhordova@anc55.ru

Natalia P. Blokhina, senior researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1857-9893>

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

Yaroslava V. Mukhina, junior researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0952-6696>

Natalia S. Pugacheva, junior researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-5476>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Оценка адаптивных свойств сортов озимой тритикале по урожайности в Среднем Предуралье

© 2024. Т. А. Бабайцева ✉, И. Н. Серебренникова, Э. Ф. Вафина,

А. В. Мильчакова

ФГБОУ «Удмуртский государственный аграрный университет»,
Удмуртская Республика, г. Ижевск, Российская Федерация

Тритикале – универсальная культура с высоким потенциалом урожайности, но недостаточной устойчивостью к неблагоприятным условиям вегетации. Поэтому большое значение имеют сочетание высокой урожайности, адаптивности, пластичности, стабильности и стрессоустойчивости сортов. Цель исследований – оценка адаптивного потенциала сортов озимой тритикале по признаку «урожайность» в агроэкологических условиях Среднего Предуралья. Полевые исследования были проведены в Удмуртской Республике в контрастные по погодным условиям годы (2021–2023), индекс условий среды изменялся от -128 до 152. Изучали 45 сортов различного эколого-географического происхождения. Анализ адаптивного потенциала сортов проводили разными статистическими методами. В результате выделены наиболее адаптивные для агроэкологических условий Среднего Предуралья сорта. Высокой отзывчивостью на улучшение условий среды характеризовались сорта Бета, Трибун, Топаз, Линда (Россия), Маяк, Алес (Беларусь), Торчинске (Украина) ($b_i = 1,82...2,01$). Относительно высокую стрессоустойчивость проявили Гирей, Берекет, Атаман Платов (Россия), Амulet (Беларусь). Высокой компенсаторной способностью выделились сорта Бета, Зимогор, АД 1405, Топаз, Корнет (Россия). Наиболее низкую вариабельность урожайности и одновременно высокую гомеостатичность имели Берекет и Атаман Платов. При ранжировании испытываемых сортов по перечисленным показателям в десятке наиболее стабильных и пластичных выделились Зимогор, Корнет, Атаман Платов, Берекет, Немчиновский 56, Ижевская 2, Импринт, Бард (Россия), Импульс (Беларусь), Чернобровец (Украина) с суммарной ранговой оценкой от 55 до 95 баллов. Перечисленные сорта можно отнести к наиболее ценным. В агроэкологических условиях Среднего Предуралья целесообразно возделывать сорта, сочетающие высокую урожайность и адаптивность, – Зимогор, Корнет, Ижевская 2, а по интенсивной технологии – сорт Бета. В качестве исходного материала в селекции озимой тритикале на повышение урожайности и адаптивности практическую ценность имеют сорта Атаман Платов, Чернобровец, Берекет, Бард, Импульс, Немчиновский 56. Сравнение разных методик определения адаптивности сортов к конкретным условиям среды показало практическую равноценность показателей «размах урожайности», «коэффициент вариации урожайности» и «гомеостатичность».

Ключевые слова: адаптивный потенциал, пластичность, стрессоустойчивость, гомеостатичность, компенсаторная способность

Благодарности: работа частично выполнена (исследования 2021 г.) по заказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации за счет средств федерального бюджета (регистрационный номер 121042700038-6 от 27.04.2021 г).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бабайцева Т. А., Серебренникова И. Н., Вафина Э. Ф., Мильчакова А. В. Оценка адаптивных свойств сортов озимой тритикале в Среднем Предуралье. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):551–560.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.551-560>

Поступила: 16.04.2024

Принята к публикации: 10.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Assessment of adaptive properties of winter triticale cultivars by yield in the Middle Urals

© 2024. Tatyana A. Babaytseva ✉, Irina N. Serebrennikova, Elmira F. Vafina,

Anna V. Milchakova

Udmurt State Agrarian University, Udmurt Republic, Izhevsk, Russian Federation

Triticale is a versatile crop with high yield potential but insufficient resistance to unfavourable growing conditions. Therefore, the combination of high yield, adaptability, plasticity, stability and stress resistance of varieties is of great importance. The purpose of the research is to assess the adaptive potential of winter triticale cultivars according to the "yield" trait in agroecological conditions of the Middle Urals. Field studies were conducted in the Udmurt Republic in the years with contrasting weather conditions (2021–2023), the index of environmental conditions varied from -128 to 152. Forty-five cultivars of various ecological and geographical origin were studied. The analysis of the adaptive potential of the cultivars was carried out using various statistical methods. As a result, the most adaptive cultivars for the agroecological conditions of the Middle Urals were identified. The cultivars 'Beta', 'Tribune', 'Topaz', 'Linda' (Russia), 'Mayak', 'Ales' (Belarus), 'Torchinsky' (Ukraine) were characterized by high responsiveness to improving environmental conditions ($b_i = 1.82...2.01$). The cultivars 'Giray', 'Bereket', 'Ataman Platov' (Russia), 'Amulet' (Belarus) showed relatively high stress resistance. The cultivars 'Beta', 'Zimogor', AD 1405, 'Topaz',

'Kornet' (Russia) were distinguished by a high compensatory ability. The cultivars 'Bereket' and 'Ataman Platov' had the lowest yield variability and at the same time high homeostaticity. When ranking the tested cultivars according to the listed indicators, the top ten most stable and plastic cultivars were 'Zimogor', 'Kornet', 'Ataman Platov', 'Bereket', 'Nemchinovsky 56', 'Izhevskaya 2', 'Imprint', 'Bard' (Russia), 'Impulse' (Belarus), 'Chernobrivets' (Ukraine), with a total ranking score from 55 to 95 points. The listed cultivars can be classified as the most valuable. In the agroecological conditions of the Middle Urals, it is advisable to cultivate varieties that combine high yields and adaptability – 'Zimogor', 'Kornet', 'Izhevskaya 2', and according to intensive technology – 'Beta' cultivar. The cultivars 'Ataman Platov', 'Chernobrivets', 'Bereket', 'Bard', 'Impulse', 'Nemchinovsky 56' also have practical value as a source material in the breeding of winter triticale to increase productivity and adaptability. A comparison of different methods for determining the adaptability of cultivars to specific environmental conditions showed the practical equivalence of the indicators of yield range, yield variation coefficient and homeostaticity.

Keywords: adaptive potential, plasticity, stress resistance, homeostaticity, compensatory ability

Acknowledgements: the work was partially completed (research 2021) by order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation at the expense of the federal budget. (registration number 121042700038-6 dated 04/27/2021).

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

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

For citation: Babaytseva T. A., Serebrennikova I. N., Vafina E. F., Milchakova A. V. Assessment of adaptive properties of winter triticale cultivars in the Middle Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):551–560. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.551-560>

Received: 16.04.2024

Accepted for publication: 10.07.2024

Published online: 28.08.2024

Тритикале (*Triticosecale* Witt.) – филогенетически молодая культура, созданная путем объединения геномов пшеницы и ржи, которая является высокоурожайным, малотребовательным к почвенным условиям родом растений, используемым на кормовые и пищевые цели [1, 2, 3]. Потенциальная продуктивность современных отечественных сортов превышает 12 т/га [4]. Они не только не уступают по урожайности сортам исходных видов, но часто превосходят их. В то же время культура не лишена недостатков, среди которых можно назвать высокую зависимость урожайности от условий вегетации, особенно в зимний и ранневесенний периоды [5, 6]. Среднее Предуралье относится к сложным регионам для возделывания озимой тритикале, где основным лимитирующим фактором являются условия перезимовки [7]. Поэтому для получения стабильных урожаев данной культуры большое значение имеют адаптивные свойства сортов, знание которых может значительно повысить эффективность их использования в производстве. Данные сведения можно использовать и в селекционной работе при подборе исходного материала.

Цель исследований – оценка адаптивного потенциала сортов озимой тритикале по урожайности в агроэкологических условиях Среднего Предуралья.

Научная новизна – оценена экологическая пластичность сортов озимой тритикале различного эколого-географического происхождения по урожайности разными методами, выделены

наиболее адаптивные сорта к условиям Среднего Предуралья.

Материал и методы. Исследования проведены в 2021–2023 гг. на опытном поле УНПК «Агротехнопарк» Удмуртского ГАУ. Опыт полевой однофакторный. Изучали 45 сортов различного эколого-географического происхождения в сравнении со стандартными сортами Ижевская 2 и Зимогор, которые были высеяны поочередно на каждой 10-й деланке (табл. 1). Опыт микрополевой, без повторностей. Площадь деланки 1,05 м².

Таблица 1 – Происхождение сортов озимой тритикале /
Table 1 – Origin of winter triticale cultivars

| Страна / Country | Количество образцов / Number of samples |
|------------------------|--|
| Россия / Russia | 31 |
| Беларусь / Belarus | 8 |
| Украина / Ukraine | 7 |
| Казахстан / Kazakhstan | 1 |

Оценки и наблюдения в опыте осуществляли в соответствии с методикой ВИР¹. Метеорологические условия в годы проведения исследований представлены по данным метеостанции г. Ижевск, на основе которых рассчитан гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову². Статистическая обработка результатов исследований проведена методом вариационного анализа³, расчет экологической пластичности (b_i) – по методике Эберхарта, Рассела (S. A. Eberhart, W. A. Russel) в изложении

¹Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания. Под ред. А. Ф. Мережко. С-Пб: ВИР, 1999. 82 с.

²Погода и климат. Климатический монитор. Ижевск. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28411>

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Ю. С. Ларионова⁴. Показатель гомеостатичности (Hom) вычислили по формуле, предложенной В. В. Хангильдиным и Н. А. Литвиненко⁵, стрессоустойчивость и компенсаторную способность – по уравнениям Россели, Хемблина (А. А. Rossielle и J. Hamblin) в изложении А. А. Гончаренко⁶. По каждому показателю применяли ранжирование и проводили оценку по сумме рангов, лучшему показателю соответствует единица.

Почва опытных участков дерново-среднеподзолистая, среднесуглинистая. Реакция среды варьировала от среднекислой до нейтральной (рН_{KCl} 4,8...6,1)⁷, содержание гумуса – от низкого до среднего (1,7...2,1 %)⁸, подвиж-

ного фосфора – от повышенного до очень высокого (128...295 мг/кг почвы), подвижного калия – от среднего до очень высокого (88...483 мг/кг почвы)⁹. По основным показателям почва соответствовала требованиям озимой тритикале.

Погодные условия в годы проведения исследований характеризовались большой изменчивостью, что отразилось на урожайности озимой тритикале. Вегетационные периоды 2020-2021 гг. и 2022-2023 гг. можно в целом охарактеризовать как засушливые, ГТК в сентябре, мае и июне был меньше единицы (рис.), в сезон 2021-2022 г. в эти месяцы, напротив, условия сложились избыточно увлажненными.

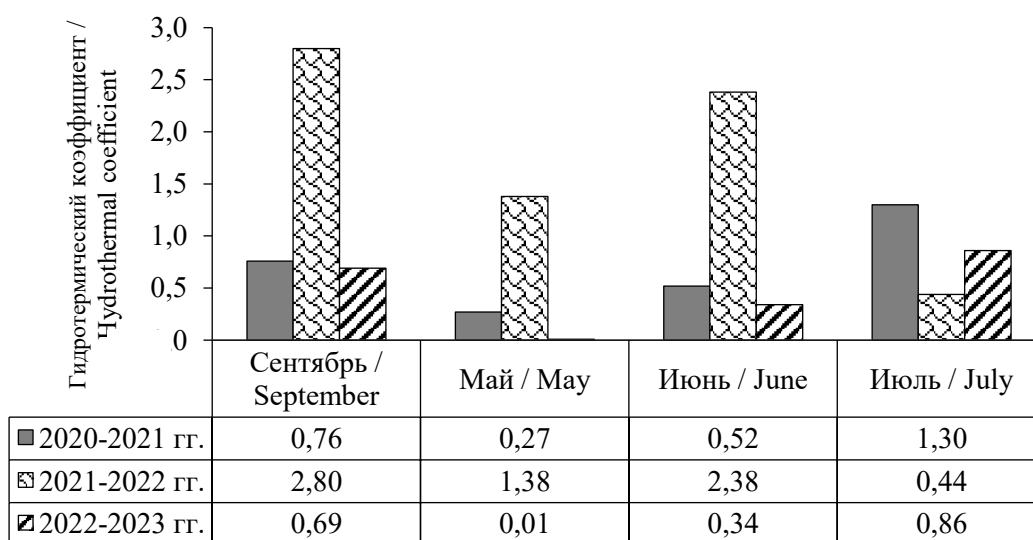


Рис. Гидротермический коэффициент в период активной вегетации озимой тритикале /
Fig. Hydrothermal coefficient during the active vegetation period of winter triticale

Условия перезимовки были относительно благоприятными во все годы исследований. Снег полностью с полей сошел в 2021 и 2022 гг. соответственно 14 и 21 апреля, что соответствует климатической норме. В 2023 г. весна была очень ранней, полное таяние снега отмечено 29 марта, но в течение первой и второй декад апреля отмечены заморозки до -7 °С, что

привело к частичной гибели ослабленных после перезимовки растений тритикале.

Недостаточное увлажнение в период весенне-летней вегетации озимой тритикале в 2021 и 2023 гг. препятствовало весеннему кущению растений и формированию достаточно развитого колоса. Выпадавшие в июле осадки в виде ливневых дождей не оказали существенного влияния на состояние растений, которые

⁴Оценка экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур: учебное пособие для студ. ВУЗов. Ю. С. Ларионов [и др.]. Курган, 1993. 34 с.

⁵Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы. Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1981;(1):8–14.

⁶Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005;(6):49–53.

⁷ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁸ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 8 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/75803/>

⁹ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

к тому времени достигли созревания. Такие условия способствовали формированию низкой урожайности зерна тритикале. Влажная и прохладная погода первой половины вегетации 2022 г. способствовала закладке дополнительных побегов кущения и крупного колоса, а установившаяся в июле сухая и жаркая погода ускорила созревание растений. Такие условия обеспечили формирование относительно высокой урожайности зерна тритикале. Таким образом, разнообразие погодных условий в период проведения исследований в целом позволило более точно определить показатели экологической пластичности и выделить наиболее адаптивные сорта озимой тритикале.

Технология возделывания в опыте была принята в соответствии с региональными рекомендациями. Предшественник – чистый пар, на котором в течение лета проведено две обработки культиватором КПС-4. Предпосевная обработка почвы заключалась в культивации КМН-4, под которую вносили сложные минеральные удобрения NPK 16:16:16 с учетом содержания элементов питания в почве в дозе от $N_{24}P_{24}K_{24}$ до $N_{32}P_{32}K_{32}$. Посев ручной в оптимальные для региона сроки: 24 августа – 7 сентября. Нормы высева – 500 всх. семян/м². Весной после начала отрастания растений тритикале проводили подкормки аммиачной селитрой в дозе N_{51} . В течение лета по мере появления сорняков осуществляли ручные прополки. Уборку по мере достижения растениями восковой спелости выполняли вручную с последующим обмолом снопов на сноповой молотилке МПС-1М.

Результаты и их обсуждение. Урожайность – один из главных показателей, характеризующих потенциал сорта, его востребованность производством, приспособленность к условиям среды. Урожайность испытываемых сортов в годы исследований сильно варьировала. Согласно результатам дисперсионного анализа, на долю условий вегетации приходится 56 % изменчивости урожайности, на долю сорта – 19 %, на взаимодействие этих факторов – 24 %, на случайные факторы – 1 %.

За годы исследований наиболее благоприятные условия для формирования урожайности сложились в 2022 г. (индекс условий, рассчитываемый как отклонение средней по опыту урожайности в текущем году от средней урожайности за все годы проведения исследований, $I_j = 152$), средняя урожайность в опыте составила 407 г/м². В 2021 и 2023 гг. условия были неблагоприятные: индекс условий и

средняя урожайность сортов в первый год были наиболее низкими – $I_j = -128$, средняя урожайность 127 г/м², во второй – $I_j = -24$, урожайность 232 г/м².

Межсортное варьирование средней за три года урожайности было в пределах 109–391 г/м², коэффициент вариации составил 26 % (табл. 2). Наибольшую урожайность сформировал сорт Бета (391 г/м²), на этом же уровне получена урожайность сортов Зимогор, Корнет, Торчинске, Маяк, АД 805 и АД 1405 (326–381 г/м²). Урожайность остальных сортов была ниже, чем у сорта Бета, на 70–282 г/м² при среднеквадратическом отклонении $\sigma = 66$ г/м².

Адаптивные свойства сортов характеризует коэффициент экологической пластичности (b_i), который отражает реакцию сорта на изменение условий выращивания. При $b_i > 1$ сорт обладает большей отзывчивостью на улучшение условий выращивания, его можно отнести к интенсивным. При показателе $b_i < 1$ сорт реагирует слабее на улучшение условий среды, его принято называть экстенсивным. При значении коэффициента $b_i = 1$ сорт относят к полунтенсивным, так как изменение признака у такого сорта адекватно изменению условий выращивания [8, 9].

Изучаемые сорта по данному показателю разделили на 3 группы: интенсивные – 19 сортов; полунтенсивные – 3 сорта (Князь, Самурай и Маркян); экстенсивные – 25 сортов. Для современного сельскохозяйственного производства наибольший интерес представляют сорта первой группы, которые способны формировать высокие прибавки урожайности в благоприятных условиях возделывания.

Среди включенных в Госреестр по Волго-Вятскому региону сорта Ижевская 2, Зимогор, Корнет, Богуслав, Виктор и Цекад 90 слабо реагировали на улучшение условий среды, тем самым проявив низкую экологическую пластичность ($b_i = 0,45 \dots 0,89$). Их можно отнести к сортам экстенсивного типа. Сорт Бета, сформировавший наибольшую в опыте урожайность в благоприятных условиях (730 г/м²), характеризовался высокой отзывчивостью на улучшение условий среды ($b_i = 1,82$). Данный сорт больше подходит для выращивания на интенсивном фоне. К интенсивным сортам можно отнести также Трибун, Алесь, Топаз, Маяк, Торчинске, Линда ($b_i = 1,84 \dots 2,01$), которые в благоприятных условиях показали урожайность 533–642 г/м² при среднесортном показателе 407 г/м².

Таблица 2 – Урожайность и экологическая пластичность (b_i) сортов озимой тритикале (среднее за 2021–2023 гг.) /
Table 2 – Yield and ecological plasticity (b_i) of winter triticale cultivars (average for 2021–2023)

| <i>Copm / Cultivar</i> | <i>Урожай- ность, г/м² / Yield, g/m²</i> | <i>b_i</i> | <i>Copm / Cultivar</i> | <i>Урожай- ность, г/м² / Yield, g/m²</i> | <i>b_i</i> |
|---|--|----------------------|--|--|----------------------|
| Ижевская 2*, стандарт / 'Izhevskaya 2*', standard | 255 | 0,83 | Интерес / 'Interes' | 273 | 0,76 |
| Зимогор*, стандарт / 'Zimogor*', standard | 381 | 0,74 | Князь / 'Knyas' | 253 | 1,00 |
| АД 1405 / AD 1405 | 326 | 1,48 | Корнет* / 'Cornet'* | 378 | 0,59 |
| АД 805 / AD 805 | 326 | 1,49 | Линда / 'Linda' | 313 | 2,01 |
| Алесь / 'Ales' | 302 | 1,87 | Маркян / 'Markian' | 273 | 1,03 |
| Амулет / 'Amulet' | 109 | 0,38 | Маяк / 'Mayak' | 326 | 1,95 |
| Атаман Платов / 'Ataman Platov' | 283 | 0,41 | Михась / 'Mihas' | 277 | 1,30 |
| Бард / 'Bard' | 293 | 1,06 | Нелли / 'Nelly' | 215 | 0,56 |
| Берекет / 'Bereket' | 265 | 0,21 | Немчиновский 56 / 'Nemchinovsky 56' | 250 | 0,72 |
| Бета* / 'Beta'* | 391 | 1,82 | Обрій Миронівський / 'Obriy Mironovsky' | 166 | 0,85 |
| Богдо / 'Bogdo' | 193 | 0,53 | Прометей / 'Promethey' | 305 | 1,33 |
| Богуслав* / 'Boguslav'* | 228 | 0,89 | Реалист / 'Realist' | 209 | 0,77 |
| Борун / 'Borun' | 169 | 0,33 | Самурай / 'Samurai' | 205 | 1,02 |
| Брат / 'Brat' | 279 | 1,15 | Сват / 'Svat' | 218 | 0,07 |
| Букет / 'Buket' | 264 | 1,55 | Сирс 57 / 'Sirs 57' | 298 | 1,69 |
| Валентин 90 / 'Valentine 90' | 273 | 1,46 | Сколот / 'Scolot' | 321 | 1,69 |
| Виктор* / 'Victor'* | 199 | 0,62 | Таза / 'Tasa' | 171 | 0,82 |
| Гермес / 'Hermes' | 229 | 1,10 | Топаз / 'Topas' | 319 | 1,90 |
| Гирей / 'Giray' | 140 | 0,19 | Торчинске / 'Torchinske' | 350 | 1,98 |
| Дозор / 'Dosor' | 148 | 0,03 | Трибун / 'Tribun' | 229 | 1,84 |
| Жычень / 'Zhyten' | 251 | 0,78 | Цекад 90* / 'Tsekad 90' | 171 | 0,45 |
| Завет / 'Zavet' | 173 | 0,39 | Чернобривец / 'Chernobrivets' | 297 | 0,77 |
| Импринт / 'Imprint' | 204 | 0,49 | Эра / 'Era' | 229 | 1,28 |
| Импульс / 'Impuls' | 268 | 0,85 | Среднее / Average | 255 | – |
| Среднеквадратическое отклонение (σ) / Standard deviation (σ) | | | | 66 | – |
| Коэффициент вариации (CV, %) / Coefficient of variation (CV, %) | | | | 26 | – |

*Сорта, включенные в Государственный реестр селекционных достижений и допущенные к использованию по Волго-Вятскому региону / *Cultivars included in the State Register of Breeding Achievements and approved for use in the Volga-Vyatka region

Согласно уравнениям Россили и Хемблина, показатель степени устойчивости сорта к стрессовым факторам среды определяется по интервалу между минимальной и максимальной урожайностью. Чем меньше этот разрыв, тем выше стрессоустойчивость и шире диапазон приспособительных возможностей сорта [9, 10, 11]. Относительно высокую стрессоустойчивость в текущих условиях вегетации

проявили сорта Гирей (-89), Берекет (-97), Амулет (-101), Атаман Платов (-116) при значительно более высоком показателе у стандартных сортов Зимогор (-205) и Ижевская 2 (-224). Низкую стрессоустойчивость (-496...-559) проявили Бета, Трибун, Алесь, Топаз, Маяк, Торчинске, Линда, что подтверждает интенсивный тип данных сортов (табл. 3).

Таблица 3 – Стрессоустойчивость и генетическая гибкость сортов озимой тритикале (среднее за 2021–2023 гг.) /
 Table 3 – Stress resistance and genetic flexibility of winter triticale cultivars (average for 2021–2023)

| <i>Coptm / Cultivar</i> | <i>Стрессо- устойчивость $Y_{min} - Y_{max} /$ Stress resistance $U_{min} - U_{max}$</i> | <i>Генетическая гибкость $(Y_{min} + Y_{max})/2 /$ Genetic flexibility $(U_{min} + U_{max})/2$</i> | <i>Coptm / Cultivar</i> | <i>Стрессо- устойчивость $Y_{min} - Y_{max} /$ Stress resistance $U_{min} - U_{max}$</i> | <i>Генетическая гибкость $(Y_{min} + Y_{max})/2 /$ Genetic flexibility $(U_{min} + U_{max})/2$</i> |
|--|--|--|--|--|--|
| Ижевская 2*, стандарт / 'Izhevskaya 2*', standard | -224 | 279 | Интерес / 'Interes' | -259 | 236 |
| Зимогор*, стандарт / 'Zimogor*', standard | -205 | 393 | Князь / 'Knyas' | -279 | 267 |
| АД 1405 / AD 1405 | -395 | 378 | Корнет* / 'Cornet'* | -175 | 367 |
| АД 805 / AD 805 | -416 | 345 | Линда / 'Linda' | -551 | 359 |
| Алесь / 'Ales' | -528 | 313 | Маркян / 'Markian' | -334 | 303 |
| Амулет / 'Amulet' | -101 | 125 | Маяк / 'Mayak' | -551 | 338 |
| Атаман Платов / 'Ataman Platov' | -116 | 283 | Михась / 'Mihas' | -364 | 289 |
| Бард / 'Bard' | -301 | 299 | Нелли / 'Nelly' | -232 | 220 |
| Берекет / 'Bereket' | -97 | 265 | Немчиновский 56 / 'Nemchinovsky 56' | -189 | 279 |
| Бета* / 'Beta'* | -552 | 454 | Обрій Миронівський / 'Obriy Mironovsky' | -232 | 184 |
| Богдо / 'Bogdo' | -230 | 173 | Прометей / 'Promethey' | -366 | 329 |
| Богуслав* / 'Boguslav'* | -262 | 215 | Реалист / 'Realist' | -234 | 179 |
| Борун / 'Borun' | -121 | 155 | Самурай / 'Samurai' | -276 | 234 |
| Брат / 'Brat' | -325 | 284 | Сват / 'Svat' | -226 | 237 |
| Букет / 'Buket' | -429 | 290 | Сирс 57 / 'Sirs 57' | -470 | 321 |
| Валентин 90 / 'Valentine 90' | -409 | 290 | Сколот / 'Scolot' | -478 | 333 |
| Виктор* / 'Victor'* | -183 | 189 | Таза / 'Tasa' | -237 | 165 |
| Гермес / 'Hermes' | -320 | 271 | Топаз / 'Topas' | -514 | 372 |
| Гирей / 'Giray' | -89 | 139 | Торчинске / 'Torchinske' | -559 | 362 |
| Дозор / 'Dosor' | -171 | 165 | Трибун / 'Tribun' | -496 | 285 |
| Жыцень / 'Zhyten' | -254 | 212 | Цекад 90* / 'Tsekad 90' | -121 | 190 |
| Завет / 'Zavet' | -136 | 155 | Чернобривец / 'Chernobrivets' | -218 | 300 |
| Импринт / 'Imprint' | -141 | 199 | Эра / 'Era' | -351 | 256 |
| Импульс / 'Impuls' | -232 | 286 | - | - | - |

* Сорта, включенные в Государственный реестр селекционных достижений и допущенные к использованию по Волго-Вятскому региону / *Cultivars included in the State Register of Breeding Achievements and approved for use in the Volga-Vyatka region

Генетическая гибкость, или компенсаторная способность, сорта определяется по средней урожайности в контрастных условиях выращивания. Высокое значение данного показателя характеризует устойчивость сорта к различным факторам среды. Сорт Бета с невысоким уровнем устойчивости к стрессовым условиям вместе с тем обладает высокой генетической гибкостью. Он сформировал наибольшую среди изучаемых сортов среднюю

урожайность в контрастных условиях – 454 г/м² (с варьированием по годам от 178 до 730 г/м²), что свидетельствует о его специфической адаптации. Высокую компенсаторную способность проявили также сорта Зимогор (393), АД 1405 (378), Топаз (372), Корнет (367).

Гомеостатичность (Ном) выражается в способности сорта сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных факторов [9]. Это универсальное свойство в системе

генотип-средовых взаимоотношений. Критерием гомеостатичности сортов, как отмечают О. Б. Константинова и Е. П. Кондратенко [12], можно считать их способность поддерживать низкую вариабельность признаков продуктивности. Связь гомеостатичности (Hom) с коэффициентом вариации (CV, %), по мнению авторов, характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды. В наших исследованиях наиболее низкую вариабельность признака (CV = 18 и 20 %) и высокую гомеостатичность

(Hom = 14,7 и 11,9) имели сорта Берекет и Атаман Платов соответственно (табл. 4). У сорта Бета отмечена высокая изменчивость урожайности (CV = 76 %) и низкая гомеостатичность (Hom = 0,9), что говорит о нестабильности и слабой адаптивности сорта к возделыванию в сложившихся метеорологических условиях. Аналогичные результаты были получены у сортов интенсивного типа Трибун, Алесь, Топаз, Маяк, Торчинске, Букет, Линда, Сирс 57 (CV = 80...117 %; Hom = 0,4...0,8).

Таблица 4 – Гомеостатичность (Hom) и степень варьирования (CV) урожайности сортов озимой тритикале (среднее за 2021–2023 гг.) /

Table 4 – Homeostaticity (Hom) and degree of variation (CV) in the yield of winter triticale cultivars (average for 2021–2023)

| <i>Copm / Cultivar</i> | <i>Hom</i> | <i>CV, %</i> | <i>Copm / Cultivar</i> | <i>Hom</i> | <i>CV, %</i> |
|---|------------|--------------|---|------------|--------------|
| Ижевская 2*, стандарт / 'Izhevskaya 2'*, standard | 2,4 | 47 | Интерес / 'Interes' | 2,0 | 53 |
| Зимогор*, стандарт / 'Zimogor'*, standard | 6,7 | 28 | Князь / 'Knyas' | 1,6 | 56 |
| АД 1405 / AD 1405 | 1,2 | 67 | Корнет* / 'Cornet'* | 9,1 | 24 |
| АД 805 / AD 805 | 1,2 | 65 | Линда / 'Linda' | 0,6 | 91 |
| Алесь / 'Ales' | 0,7 | 88 | Маркиян / 'Markian' | 1,3 | 64 |
| Амулет / 'Amulet' | 2,0 | 53 | Маяк / 'Mayak' | 0,7 | 85 |
| Атаман Платов / 'Ataman Platov' | 11,9 | 20 | Михась / 'Mihas' | 1,2 | 66 |
| Бард / 'Bard' | 1,9 | 51 | Нелли / 'Nelly' | 1,7 | 54 |
| Берекет / 'Bereket' | 14,7 | 18 | Немчиновский 56 / 'Nemchinovsky 56' | 3,1 | 43 |
| Бета* / 'Beta'* | 0,9 | 76 | Обрій Миронівський / 'Obriy Mironovsky' | 1,0 | 73 |
| Богдо / 'Bogdo' | 1,3 | 62 | Прометей / 'Promethey' | 1,3 | 62 |
| Богуслав* / 'Boguslav'* | 1,5 | 58 | Реалист / 'Realist' | 1,5 | 61 |
| Борун / 'Borun' | 3,6 | 39 | Самурай / 'Samurai' | 1,0 | 72 |
| Брат / 'Brat' | 1,5 | 58 | Сват / 'Svat' | 1,8 | 54 |
| Букет / 'Buket' | 0,7 | 83 | Сирс 57 / 'Sirs 57' | 0,8 | 80 |
| Валентин 90 / 'Valentine 90' | 0,9 | 76 | Сколот / 'Scolot' | 0,9 | 75 |
| Виктор* / 'Victor'* | 2,3 | 47 | Таза / 'Tasa' | 1,0 | 70 |
| Гермес / 'Hermes' | 0,9 | 76 | Топаз / 'Topas' | 0,7 | 86 |
| Гирей / 'Giray' | 5,0 | 32 | Торчинске / 'Torchinske' | 0,8 | 80 |
| Дозор / 'Dosor' | 1,4 | 61 | Трибун / 'Tribun' | 0,4 | 117 |
| Жышень / 'Zhyten' | 1,7 | 57 | Цекад 90* / 'Tsekad 90' | 3,5 | 40 |
| Завет / 'Zavet' | 2,9 | 44 | Чернобривец / 'Chernobrivets' | 3,7 | 37 |
| Импринт / 'Imprint' | 4,2 | 35 | Эра / 'Era' | 0,8 | 79 |
| Импульс / 'Impuls' | 2,6 | 45 | - | - | - |

* Сорта, включенные в Государственный реестр селекционных достижений и допущенные к использованию по Волго-Вятскому региону / * Cultivars included in the State Register of Breeding Achievements and approved for use in the Volga-Vyatka region

Таким образом, результаты оценки адаптивности сортов по урожайности, рассчитанные разными методами, существенно различаются. Имеются сорта, на высокую пластичность которых указывают только одна методика расчета или несколько. В таком случае некоторые исследова-

ватели [13, 14, 15] предлагают использовать ранжирование сортов по каждому анализируемому признаку. При этом сорта, которые по сумме рангов получили меньше баллов, авторы предлагают относить к наиболее ценным.

При ранжировании испытываемых сортов по показателям «пластичность», «стрессоустойчивость», «генетическая гибкость», «вариативность урожайности», «гомеостатичность» суммарное количество баллов варьировало от 55 до 162. В десятку наиболее стабильных и пластичных вошли сорта Зимогор, Корнет, Атаман Платов, Чернобриец, Берекет, Импульс, Немчиновский 56, Ижевская 2, Импринт, Бард с суммарной ранговой оценкой от 55 до 95 баллов. Из остального числа сортов, допущенных к возделыванию по Волго-Вятскому региону, Цекад 90 получил 100 баллов, Виктор – 111 баллов, Бета и Богуслав – по 126 баллов (занявшие соответственно 11, 15, 25-е и 26-е место). С учетом ранга по урожайности первая десятка сортов практически не изменилась – это Зимогор, Корнет, Чернобриец, Атаман Платов, Берекет, Бард, Импульс, Ижевская 2, АД 1405, Немчиновский 56, набравшие суммарно от 57 до 117 баллов. Сорт Бета получил 127 баллов (13-е место), Цекад 90 – 141 балл (19-е место), Виктор – 149 баллов (25-е место), Богуслав – 158 баллов (32-е место).

Заключение. Анализ адаптивного потенциала сортов озимой тритикале по урожайности в контрастных погодных условиях позволил выделить наиболее приспособленные для агроэкологических условий Среднего Предуралья. Высокой отзывчивостью на улучшение условий среды характеризовались сорта Бета, Трибун, Алесь, Топаз, Маяк, Торчинске, Линда ($b_i = 1,82...2,01$). Относительно высокую стрес-

соустойчивость проявили сорта Гирей, Берекет, Амулет, Атаман Платов. Высокой компенсаторной способностью, что характеризует их устойчивость к различным факторам среды, выделились сорта Бета, Зимогор, АД 1405, Топаз, Корнет. Наиболее низкую вариативность урожайности и одновременно высокую гомеостатичность, что характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды, имели сорта Берекет и Атаман Платов. При ранжировании испытываемых сортов по перечисленным показателям в десятку наиболее стабильных и пластичных вошли сорта Зимогор, Корнет, Атаман Платов, Чернобриец, Берекет, Импульс, Немчиновский 56, Ижевская 2, Импринт, Бард с суммарной ранговой оценкой от 55 до 95 баллов. Эти сорта можно отнести к наиболее ценным. В агроэкологических условиях Среднего Предуралья целесообразно возделывать сорта, сочетающие высокую урожайность и адаптивность, – Зимогор, Корнет, Ижевская 2, а по интенсивной технологии – сорт Бета. В качестве исходного материала в селекции озимой тритикале на повышение урожайности и адаптивности практическую ценность имеют, кроме перечисленных, сорта Атаман Платов, Чернобриец, Берекет, Бард, Импульс, Немчиновский 56. Сравнение разных методик определения адаптивности сортов к конкретным условиям среды показало практическую равноценность показателей «размах урожайности», «коэффициент вариации урожайности» и «гомеостатичность».

Список литературы

1. Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Гординская Е. А., Барулина Н. И. Сорта озимой тритикале донской селекции в Пермском крае. Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: мат-лы Всеросс. науч. конф. с международ. участием, посвящ. 110-летию Пермского НИИСХ. Пермь, 05–07 июля 2023 г. Науч. редколлегия: К. Н. Коряков [и др.]. Пермь: изд-во «От и До», 2023. С. 287–293. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54399068> EDN: CSTZXJ
2. Медведев А. М., Лисенко Е. Н., Кузьмич М. А., Кузьмич Л. А. О результатах селекции озимой тритикале в Подмоскowie. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023;(3(47)):77–84. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-3-77-84> EDN: BYFTQN
3. Байбеков Р. Ф., Суханбердина Л. Х., Филиппова А. В., Дезинбаев С. Е., Белопухов С. Л. Кормовая ценность и технологические свойства селекционных образцов озимого тритикале. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020;(1(57)):43–56. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-01-04> EDN: AGUXGO
4. Барулина Н. И., Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Гординская Е. А. Источники хозяйственно ценных признаков и качества зерна для селекции озимой тритикале в условиях меняющегося климата. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023;(4(102)):44–50. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-44-50> EDN: QJHMF
5. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л. Оценка сортов озимой тритикале на устойчивость к снежной плесени в Республике Татарстан. Тритикале: мат-лы международ. научн.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 07–08 июня 2022 г. Ростов-на-Дону: ООО «Издательство «Юг», 2022. Вып. 10. С. 138–149. DOI: <https://doi.org/10.34924/FRARC.2022.19.39.014> EDN: WZEEKO
6. Rapacz M., Macko-Podgórn A., Jurczyk B., Kuchar L. Modeling wheat and triticale winter hardiness under current and predicted winter scenarios for Central Europe: A focus on deacclimation. Agricultural and Forest Meteorology. 2022;313:108739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108739>

7. Бабайцева Т. А., Гамберова Т. В. Оценка исходного материала для селекции озимой тритикале в Среднем Предуралье: монография. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2018. 155 с.
8. Ворончихина И. Н., Ворончихин В. В., Рубец В. С., Пыльнев В. В., Шадский В. А., Деревягин С. С. Урожайность, пластичность и стабильность озимого тритикале в условиях Московской области. Аграрный научный журнал. 2020;(12):8–10. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp8-10> EDN: NYTYYL
9. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцов Д. П. Анализ показателей адаптивности сортов и линий ярового ячменя в экологическом сортоиспытании. Таврический вестник аграрной науки. 2022;(4(32)):222–231. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49982577> EDN: WFQBII
10. Кривобочек В. Г. Оценка адаптивных свойств новых сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности в лесостепных условиях среднего Поволжья. Нива Поволжья. 2015;(2(35)):43–47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23859147> EDN: UCCVYZ
11. Асеева Т. А., Зенкина К. В. Адаптивность сортов яровой тритикале в агроэкологических условиях Среднего Приамурья. Российская сельскохозяйственная наука. 2019;(1):9–11. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201919-11> EDN: YYIPCP
12. Константинова О. Б., Кондратенко Е. П. Урожайность и параметры адаптивности новых сортов озимой ржи в условиях лесостепной зоны Кемеровской области. Социальная экология как основа экологизации общества: сб. мат.-лов молодежи. научн. семинара, посвящ. 65-летию Кузбасского ГТУ им. Т. Ф. Горбачева. Кемерово, 08–09 декабря 2014 г. Кемерово: Кузбасский ГТУ им. Т. Ф. Горбачева, 2014. № ст. 20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24256485> EDN: UKUXTH
13. Тимина М. А., Количенко А. А. Урожайность сортов озимой ржи в различных агроэкологических условиях Красноярского края. Вестник КрасГАУ. 2021;(10(175)):26–32. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-10-26-32> EDN: XUCUSM
14. Юсова О. А., Николаев П. Н. Эффективность применения различных методик для расчета пластичности и стабильности сортов на примере ярового ячменя. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(1(53)):98–104. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-98-104> EDN DIDYAY
15. Барковская Т. А., Гладышева О. В. Адаптивные свойства и экологическая пластичность перспективных линий яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(1):35–42. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42> EDN: AACBUR

References

1. Krokmal A. V., Grabovets A. I., Gordinskaya E. A., Barulina N. I. Varieties of winter triticale of don selection in Perm region. The development of modern farming and animal husbandry systems that ensure environmental safety: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International participation dedicated to the 110th anniversary of the Perm Research Institute. Perm, 05-07 July 2023. Scientific editorial board: K. N. Korlyakov [et al.]. Perm: *izd-vo "Ot i Do"*, 2023. pp. 287–293. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54399068>
2. Medvedev A. M., Liseenko E. N., Kuzmich M. A., Kuzmich L. A. About the results of winter triticale breeding in the Moscow region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2023;(3(47)):77–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-3-77-84>
3. Baybekov R. F., Sukhanberdina L. Kh., Filippova A. V., Dezinbaev S. E., Belopukhov S. L. Feed value and technological properties of selection samples of winter triticale. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2020;(1(57)):43–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-01-04>
4. Barulina N. I., Krokmal A. V., Grabovets A. I., Gordinskaya E. A. Sources of economically valuable traits and grain quality for winter triticale breeding in a changing climate. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2023;(4(102)):44–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-44-50>
5. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L. Evaluation of winter triticale varieties for resistance to snow mold in the Republic of Tatarstan. Triticale: Proceedings of the International Scientific and Practical conference, Rostov-on-Don, 07-08 June 2022. Rostov-na-Donu: *OOO «Izdatel'stvo «Yug»*, 2022. Iss. 10. pp. 138–149. DOI: <https://doi.org/10.34924/FRARC.2022.19.39.014>
6. Rapacz M., Macko-Podgórn A., Jurczyk B., Kuchar L. Modeling wheat and triticale winter hardiness under current and predicted winter scenarios for Central Europe: A focus on deacclimation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022;313:108739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108739>
7. Babaytseva T. A., Gamberova T. V. Evaluation of the source material for breeding winter triticale in the Middle Urals: monograph. Izhevsk: *Izhevskaya GSKhA*, 2018. 155 p.
8. Voronchikhina I. N., Voronchikhin V. V., Rubets V. S., Pylnev V. V., Shadskiy V. A., Derevyagin S. S. Yield, plasticity and resilience of winter triticale in the conditions of the Moscow region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(12):8–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp8-10>
9. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(4(32)):222–231. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49982577>

10. Krivobochek V. G. The assessment of adaptive properties of new spring soft wheat according to yield productivity in the conditions of forest-steppe in Middle Volga area. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2015;(2(35)):43–47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23859147>

11. Aseeva T. A., Zenkina K. V. Adaptivity of spring triticale sorts in agroecological conditions of the Middle Priamurye. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2019;(1):9–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201919-11>

12. Konstantinova O. B., Kondratenko E. P. Productivity and adaptability parameters of new varieties of winter rye in the conditions of the forest-steppe zone of the Kemerovo region. Social ecology as the basis for the greening of society: collection of materials of the youth scientific seminar dedicated to the 65th anniversary of the Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev. Kemerovo, December 08–09, 2014. Kemerovo: *Kuzbasskiy GTU im. T. F. Gorbacheva*, 2014. no. 20. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24256485>

13. Timina M. A., Kolichenko A. A. Winter rye varieties yield under different agroecological Krasnoyarsk region conditions. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(10(175)):26–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-10-26-32>

14. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Efficiency of application of various methods for plasticity and stability calculation of varieties on the example of spring barley. *Vestnik Ul'yansovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(1(53)):98–104. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-98-104>

15. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V. Adaptive properties and ecological plasticity of promising lines of spring soft wheat in the conditions of the Central Non-Black Earth Regions of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(1):35–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42>

Сведения об авторах

✉ **Бабайцева Татьяна Андреевна**, доктор с.-х. наук, доцент, профессор кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ул. Кирова, д. 14, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3784-0025>, e-mail: taan62@mai.ru

Серебренникова Ирина Николаевна, аспирант, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ул. Кирова, д. 14, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-5860>

Вафина Эльмира Фатхулловна, доктор с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ул. Кирова, д. 14, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3086-2886>

Мильчакова Анна Владимировна, кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ул. Кирова, д. 14, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0865-6234>

Information about the authors

✉ **Tatyana A. Babaytseva**, DSc in Agricultural Science, associate professor, professor at the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, Kirova str., 14, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3784-0025>, e-mail: taan62@mai.ru

Irina N. Serebrennikova, postgraduate, Udmurt State Agrarian University, Kirova str., 14, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-5860>

Elmira F. Vafina, DSc in Agricultural Science, associate professor, Head of the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, Kirova str., 14, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3086-2886>

Anna V. Milchakova, PhD in Agricultural Science, associate professor, associate professor at the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, Kirova str., 14, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426033, e-mail: agro@udsau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0865-6234>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Адаптивность сортов озимой ржи по урожайности в условиях Кировской области

© 2024. Е. С. Парфенова✉, Е. А. Псарева

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

Селекция озимой ржи на адаптивность является важным фактором увеличения урожайности и стабилизации валовых сборов зерна. Исследования проводили в 2018–2023 гг. в центральной агроклиматической зоне Кировской области. В питомнике конкурсного сортоиспытания изучали 13 сортов озимой ржи (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) среднепоздней группы спелости разных сроков селекции (стандарт Фаленская 4). По признаку «урожайность» определяли параметры общей адаптивной способности сорта (GAA_i), стабильности (σ^2SAA_i), селекционной ценности генотипа (СЦГ), отзывчивости генотипа на изменение условий среды (b_i), используя методику А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой. Наибольшее влияние на признак «урожайность» оказал фактор «год» (сила влияния фактора $h_x^2 = 60\%$). При высокой зимостойкости (4,7 балла) и регенерации растений (89 %) величина урожайности озимой ржи связана с количеством осадков при возобновлении вегетации в апреле ($r = -0,92$), а также в период «всходы–осеннее кущение» и фазу «колошение» ($r = 0,55$). По урожайности выделены сорта Графиня (5,09 т/га) и Лика (5,07 т/га) с достоверной прибавкой к стандарту 0,40 и 0,38 т/га соответственно ($LSD_{05} = 0,24$ т/га). Высокой общей адаптивной способностью обладали сорта Графиня, Лика, Батист, Перепел ($GAA_i = 0,23–0,51$). Сорта поздних сроков селекции характеризовались более высокой общей адаптивной способностью ($GAA_i = 0,09–0,51$) по сравнению с ранее созданными ($GAA_i = -0,61…0,01$). Высокой стабильностью признака «урожайность» ($\sigma^2SAA_i = 0,50–0,73$) отличались сорта Вятка 2, Кипрез, Кировская 89, Садко, Графиня, Батист, Рушник, Перепел. Наименьшие показатели стабильности выявлены у сортов Флора, Лика, Талица ($\sigma^2SAA_i = 1,13–1,35$). Сильную отзывчивость на улучшение условий выращивания показали сорта Флора, Лика, Талица, Фаленская 4, Перепел, Рушник ($b_i = 1,1–1,4$). Сорт Графиня сочетал высокую урожайность и стабильность (СЦГ = 2,9).

Ключевые слова: *Secale cereale* L., адаптивная способность, экологическая стабильность, селекционная ценность генотипа, продуктивность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Парфенова Е. С., Псарева Е. А. Адаптивность сортов озимой ржи по урожайности в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):561–570.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.561-570>

Поступила: 22.03.2024

Принята к публикации: 09.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Adaptability of winter rye cultivars by yield in the conditions of the Kirov region

© 2024. Elena S. Parfenova✉, Ekaterina A. Psareva

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

The breeding of winter rye for adaptability is an important factor in increasing yield and stabilizing gross grain yields. The research was conducted in 2018–2023 in the central agroclimatic zone of the Kirov region. Thirteen cultivars of winter rye (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) of the mid-late maturity group of different breeding periods ('Falenskaya 4' as standard) were studied in the nursery of competitive variety testing. Based on the "yield" trait, the parameters of the general adaptive ability of the cultivar (GAA_i), stability (σ^2SAA_i), breeding value of the genotype, and responsiveness of the genotype to changes in environmental conditions (b_i) were determined using the method of A. V. Kilchevsky and L. V. Khotyleva. The "year" factor had the greatest influence on the "yield" trait (the influence of factor $h_x^2 = 60\%$). With high winter hardiness (4.7 points) and plant regeneration (89 %), the yield of winter rye is associated with the amount of precipitation during the resumption of vegetation in April ($r = -0.92$), as well as during the period "seedlings-autumn tillering" and the "earring" phase ($r = 0.55$). According to the yield, the 'Grafinya' (5.09 t/ha) and 'Lika' (5.07 t/ha) cultivars were distinguished with a significant increase to the standard of 0.40 t/ha and 0.38 t/ha, respectively ($LSD_{05} = 0.24$ t/ha). The 'Grafinya', 'Lika', 'Batist', and 'Perepel' cultivars had a high general adaptive ability ($GAA_i = 0.23–0.51$). Cultivars of late breeding periods were characterized by a higher general adaptive ability ($GAA_i = 0.09–0.51$) compared to previously created cultivars ($GAA_i = -0.61…0.01$). The cultivars 'Vyatka 2', 'Kiprez', 'Kirovskaya 89', 'Sadko', 'Grafinya', 'Batist', 'Rushnik', 'Perepel' were distinguished by high stability of the "yield" trait ($\sigma^2SAA_i = 0.50–0.73$). The lowest stability indicators were found in the cultivars 'Flora', 'Lika', 'Talitsa' ($\sigma^2SAA_i = 1.13–1.35$). The cultivars 'Flora', 'Lika', 'Talitsa', 'Falenskaya 4', 'Perepel', 'Rushnik' were highly responsive to improving growing conditions ($b_i = 1.1–1.4$). The cultivar 'Grafinya' combined high yield and stability (selection value of the genotype 2.9).

Keywords: *Secale cereale* L., adaptive ability, ecological stability, selection value of the genotype, productivity

Acknowledgments: the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

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

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

For citations: Parfenova E. S., Psareva E. A. Adaptability of winter rye varieties by yield in conditions of the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):561–570. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.561-570>

Received: 22.03.2024

Accepted for publication: 09.07.2024

Published online: 28.08.2024

Озимая рожь (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) благодаря пластичности и стрессоустойчивости имеет широкий ареал возделывания и способна давать урожай в менее благоприятных для других зерновых культур природно-климатических условиях. Высокие адаптационные возможности обусловлены перекрестным способом опыления и являются значительным эволюционным преимуществом этой культуры [1, 2, 3, 4].

С 1991 г. в России наблюдается устойчивое снижение посевных площадей и валовых сборов зерна озимой ржи несмотря на тенденцию роста урожайности (в т. ч. за счет сортосмены) [5]. Кировская область является одним из традиционных регионов-производителей озимой ржи в России [6]. Однако за последние десятилетия посевные площади в Кировской области сократились примерно в 4-5 раз и составляют 50–60 тыс. га¹ при научно обоснованной величине 200–300 тыс. га [7]. Снижение посевных площадей озимой ржи в регионах традиционного выращивания свидетельствует о неэффективном использовании почвенно-климатических ресурсов [8, 9].

Значимый вклад в решение этой проблемы может внести селекция, так как повышение урожайности и экологической устойчивости создаваемых сортов способствует стабилизации валовых сборов зерна и увеличению рентабельности производства озимой ржи [10, 11]. Сочетание в одном сорте высокой потенциальной урожайности и экологической устойчивости может быть получено в случае независимого генетического контроля этих признаков [12]. Реализация биологического потенциала продуктивности озимой ржи зависит от устойчивости к экологическим стрессовым факторам региона (выпревание, вымерзание, поражение болезнями, эдафический стресс, засуха и т. д.), поэтому селекция должна быть направлена на усиление специфической адаптации [5, 11, 13]. Выбор наиболее подходящего метода оценки

адаптивных свойств селекционного материала среди существующего разнообразия методов и подходов зависит от задач, стоящих перед селекционером [14, 15]. Для выявления экологически устойчивого селекционного материала с минимальной изменчивостью в группе сред целесообразно использовать метод А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой, позволяющий оценить адаптивную способность, стабильность генотипов, а также выявить генотипы, сочетающие продуктивность и стабильность [16]. Под адаптивной способностью авторы метода понимают способность генотипа поддерживать свойственное ему фенотипическое выражение признака в определенных условиях среды. Общая адаптивная способность (ОАС) характеризует среднее значение признака в различных условиях среды, специфическая адаптивная способность (САС) – отклонение от ОАС в данной среде. Величина отклонения показывает способность генотипа поддерживать фенотип в определенных условиях, то есть устойчивость генотипа к специфическим стрессовым факторам (например, низкие температуры, засуха, эдафический стресс, фитопатогены) [17]. Основным признаком, выражающим приспособленность генотипа к условиям выращивания, является урожайность. Несмотря на эволюционно обусловленную способность к адаптации, озимая рожь реагирует на абиотические и биотические стрессовые факторы снижением урожайности. Урожайность озимой ржи обусловлена зимостойкостью, способностью к регенерации растений после поражения снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels et Hallett) и гидротермическими условиями вегетации в критически важные этапы развития растений (всходы и кущение, возобновление вегетации, выход в трубку, колошение) [18]. Адаптивная направленность селекции озимой ржи является актуальной на фоне возрастающей неустойчивости климата и повышения интенсивности сельскохозяйственного производства.

¹Посевные площади сельскохозяйственных культур. Единая межведомственная информационно-статистическая система ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения: 30.01.2024).

Оценка селекционного материала озимой ржи по адаптивной способности и стабильности признака «урожайность» в течение нескольких лет позволит выявить наиболее продуктивные и экологически устойчивые популяции.

Цель исследований – сравнительная оценка популяционных сортов озимой ржи в конкурсном сортоиспытании по адаптивной способности и стабильности признака «урожайность» в условиях Кировской области.

Научная новизна – в условиях Кировской области получены данные о величине общей адаптивной способности (OAC_i) и стабильности (σ^2CAC_i) популяционных сортов озимой ржи; выявлены сорта с высокой селекционной ценностью генотипа ($СЦГ_i$), сочетающие стабильность и продуктивность.

Материал и методы. Объектом исследований служили 13 сортов диплоидной озимой ржи (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) средне-поздней группы спелости, созданные в разные сроки. Сорта изучали в конкурсном сортоиспытании ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2018–2023 гг. В Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включены² сорта: Вятка 2 (1950 г.), Кировская 89 (1993 г.), Фаленская 4 – стандарт (1999 г.), Рушник (2008 г.), Флора (2012 г.), Графиня (2016 г.), Батист (2023 г.). Государственное сортоиспытание проходит сорт Лика (с 2023 г.); сорт Талица передан на государственное сортоиспытание в 2023 г.; Кипрез включен в Госреестр охраняемых селекционных достижений с 2019 г. (патент №10734³).

Сорта Садко, Фаленская универсальная и Перепел изучались как перспективные.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, $pH_{KCl} = 4,0^4$, содержание гумуса 1,37 %⁵, подвижного фосфора – 190 мг/кг, обменного калия – 221 мг/кг почвы⁶.

Агротехника в опыте – общепринятая для Кировской области (осенняя вспашка зяби, ранневесеннее боронование для закрытия влаги, летняя культивация для борьбы с сорняками, предпосевное внесение комплексного минерального удобрения, предпосевная культивация). Весной проводили подкормку аммиачной селитрой (доза азота 45–60 кг д. в. на 1 га) и боронование. Повторность опыта четырехкратная, учетная площадь делянки 10 м², способ посева – рядовой, коэффициент высева 6 млн всхожих семян на 1 га.

Изучение сортов по комплексу хозяйственно ценных признаков проведено в соответствии с методикой⁷. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по формуле Г. Т. Селянинова⁸ с использованием данных интернет-ресурса⁹. Изменчивость урожайности определяли по величине коэффициента вариации¹⁰ (CV, %). Статистическая обработка данных проведена методом двухфакторного дисперсионного анализа (уровень значимости $p < 0,05$) в пакете¹¹ статистических программ Excel 2019. Силу влияния факторов на результативный признак (h_x^2) определяли по способу Н. А. Плохинского в изложении Г. Ф. Лакина¹².

²Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/upload/iblock/bbb/j9r93w3z4qwdvy93asvrelhfo927c3e.pdf> (дата обращения: 21.12.2023).

³Кедрова Л. И., Микрюкова Л. М., Новикова Е. Я., Парфенова Е. С., Савельев Ю. П., Уткина Е. И., Шамова М. Г., Шляхтина Е. А. Озимая рожь Кипрез: пат. на селекционное достижение №10734 Российская Федерация. № заявки 8355411: заявл. 14.11.2016; опубл. 02.12.2019. URL: <https://elibrary.ru/lybyif> EDN: LYBYIF

⁴ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁵ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

⁶ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

⁷Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 194 с.

⁸Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

⁹Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=27199&month=5&year=2023> (дата обращения: 18.12.2023).

¹⁰Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985. С. 162.

¹¹Настройка к Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов. [Электронный ресурс]. URL: <http://vniioh.ru/wp-content/uploads/2012/02/agstat.zip> (дата обращения: 18.11.2022).

¹²Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1980. С. 228–231.

Параметры общей адаптивной способности (OAC_i), стабильности (σ^2CAC_i), селекционной ценности генотипа ($СЦГ_i$), реакция генотипа на улучшение условий среды (b_i) рассчитаны по методу А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой (модель I) [19] в Excel 2019. Достоверность различий сортов по общей адаптивной способности определяли по критерию наименьшей существенной разности при $p < 0,05$ [20].

Погодные условия в 2018–2023 гг. позволили объективно оценить сорта по параметрам адаптивности. Условия зимнего периода были провокационными для выпревания растений (в большинстве лет наблюдали превышение климатической нормы по количеству осадков и температуре воздуха). Во все годы исследований отмечали поражение растений снежной плесенью (*M. nivale* (Fr.) Sam. et Hall.) от 40 до 100 %. Регенерация растений всех сортов после перезимовки была высокой (в среднем 89 %). Благоприятные погодные условия для активного возобновления вегетации (теплая ясная погода с небольшим количеством осадков) сложились в 2019 и 2023 гг., неблагоприятные – в 2018 г. (возврат холодов и повторное выпадение снега с понижением температуры воздуха на 7,6–9,0 °C) и в 2020 г. (холодная погода с обильными осадками), удовлетворительные – в 2021 и 2022 гг. Условия вегетации характеризовались неустойчивостью гидротермического режима. Фазы «всходы» и «осеннее кущение» в сентябре проходили в условиях нормальной или избыточной влагообеспеченности, кроме 2019 г. (ГТК = 0,03, засуха) и 2020 г. (ГТК = 1,22, недостаток осадков). В фазу «выход в трубку»

(май) ежегодно наблюдали недостаток осадков (ГТК = 0,71...1,15). В фазы «колошение» и «цветение» (июнь) нормальное увлажнение отмечали в 2018 г. (ГТК = 1,67), избыточное – в 2019 и 2022 гг. (ГТК = 2,02...2,44), недостаток влаги – в 2020, 2021, 2023 гг. (ГТК – 0,83; 1,06; 0,72 соответственно). Созревание зерна (июль) проходило в условиях избыточного увлажнения в 2018, 2022, 2023 гг. (ГТК – 1,77; 2,10; 3,12 соответственно), нормального – в 2020 и 2021 гг. (ГТК – 1,57 и 1,55) и недостаточного увлажнения в 2019 г. (ГТК = 0,92). В 2023 г. осадки ливневого характера в июле вызвали полегание растений. В целом более высокая влагообеспеченность весенне-летней вегетации (май-июль) отмечена в 2018, 2022, 2023 гг. (ГТК – 1,59; 2,11; 1,73 соответственно). Негативными погодными факторами за период исследований являлись длительное похолодание с установлением временного снежного покрова, значительно замедлившее рост и развитие растений в конце апреля 2018 г., а также засуха и недостаток влаги в фазы «всходы» и «осеннее кущение» в 2019 и 2020 гг., которые привели к снижению густоты стеблестоя в 2020 и 2021 гг.

Результаты и их обсуждение. Установлена существенность влияния факторов «сорт», «год» и их взаимодействия на урожайность сортов. Наибольшее влияние оказал фактор «год» ($h_x^2 = 60$ %), что указывает на сильную зависимость урожайности от агрометеорологических условий года и недостаточную адаптивность изучаемых сортов к таким изменениям (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа по влиянию изучаемых факторов на урожайность сортов озимой ржи (2018–2023 гг.) /

Table 1 – The results of dispersion analysis on the influence of the studied factors on the yield of winter rye cultivars (2018–2023)

| Источник варьирования / Source of variation | Степени свободы / Degrees of freedom | Дисперсия / Variance | $F_{\text{факт.}} /$ $F_{\text{факт.}}$ | F_{05} | Сила влияния фактора h_x^2 , % / Strength of influence of factor h_x^2 , % |
|--|---|-------------------------|--|----------|---|
| Общее / General | 311 | - | - | - | - |
| Вариантов / Variants | 77 | 3,11 | 17,96* | 1,3 | 85,5 |
| Фактор «сорт» / Factor “cultivar” | 12 | 2,91 | 16,84* | 1,8 | 12,5 |
| Фактор «год» / Factor “year” | 5 | 33,65 | 194,45* | 2,3 | 60,1 |
| Взаимодействие «сорт x год» / Interaction “cultivar x year” | 60 | 0,61 | 3,50* | 1,4 | 13,0 |
| Случайное / Random | 234 | 0,17 | - | - | 14,5 |

* Статистически существенно при уровне значимости $p < 0,05$ / *Statistically significant at $p < 0.05$

Основными лимитирующими факторами условий года для урожайности в опыте являлись гидротермические условия во время возобновления вегетации в конце апреля и влагообеспеченность растений в период осенней и летней вегетации. Сухая и ясная погода в апреле способствовала интенсивному восстановлению стеблестоя озимой ржи после зимовки и увеличению урожайности (коэффициент корреляции между урожайностью сортов и суммой осадков за апрель – $r = -0,92$, значимо при $p < 0,05$). При достаточной влагообеспеченности в критические периоды водопотребления озимой ржи (всходы-осеннее кущение, колошение) урожайность увеличивалась (коэффициент корреляции с суммой осадков в сентябре и июне $r = 0,55$, с ГТК июня $r = 0,48$). При этом уровень зимостойкости и регенерационной способности сортов не влиял на урожайность ($r = 0,10$ и $r = -0,01$ соответственно), поскольку все сорта в опыте зимостойкие и хорошо отрас-

тали после перезимовки (зимостойкость в среднем 4,7 балла, степень регенерации 89 %).

Влияние сорта (12,5 %) и взаимодействия факторов «сорт×год» (13,0 %) на признак «урожайность» было почти в 5 раз меньше воздействия фактора «год». Статистически значимое влияние фактора «сорт» свидетельствует о наличии генотипических различий, что позволяет выявить в опыте урожайные адаптивные сорта и, в целом, показывает реализацию возможности повышения адаптивности селекционными методами. Существенное взаимодействие факторов «сорт×год» подразумевает изменение рангов генотипов по урожайности в разных средах, что затрудняет выделение адаптивных сортов при изменении условий среды.

Урожайность сортов в среднем по годам варьировала от 3,42 т/га (2020 г.) до 5,85 т/га (2019 г.) и в среднем по опыту составила 4,58 т/га при показателе стандарта 4,69 т/га (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние генотипа и условий года на урожайность сортов озимой ржи, т/га /
 Table 2 – Influence of genotype and year conditions on yield of winter rye cultivars, t/ha

| Сорт (фактор A) / Cultivar (factor A) | Год (фактор B) / Year (factor B) | | | | | | Среднее (сорт) / Average (cultivar) |
|--|----------------------------------|-------|------|------|------|-------|---|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | |
| Фаленская 4, стандарт / ‘Falenskaya 4’, standard | 4,72 | 6,24 | 3,24 | 4,49 | 4,47 | 4,97 | 4,69 |
| Графиня / ‘Grafinya’ | 4,24 | 6,37 | 4,20 | 4,80 | 5,47 | 5,44 | 5,09* |
| Лика / ‘Lika’ | 4,51 | 6,97 | 3,88 | 4,52 | 5,16 | 5,41 | 5,07* |
| Батист / ‘Batist’ | 4,18 | 5,62 | 3,93 | 4,23 | 5,12 | 5,93 | 4,83 |
| Перепел / ‘Perepel’ | 4,31 | 6,17 | 3,72 | 4,47 | 4,96 | 5,26 | 4,81 |
| Талица / ‘Talitsa’ | 4,65 | 6,52 | 3,32 | 4,69 | 5,13 | 4,18 | 4,75 |
| Садко / ‘Sadko’ | 4,43 | 5,58 | 3,57 | 4,29 | 4,69 | 5,48 | 4,67 |
| Флора / ‘Flora’ | 4,43 | 6,55 | 2,99 | 4,21 | 4,40 | 4,98 | 4,59 |
| Рушник / ‘Rushnik’ | 3,95 | 5,72 | 3,18 | 4,29 | 4,42 | 4,86 | 4,40 |
| Кипрез / ‘Kiprez’ | 4,31 | 5,64 | 3,52 | 4,04 | 4,27 | 4,18 | 4,33 |
| Вятка 2 / ‘Vyatka 2’ | 4,73 | 4,63 | 3,07 | 4,47 | 4,09 | 4,27 | 4,21 |
| Фаленская универсальная / ‘Falenskaya universalnaya’ | 3,02 | 4,96 | 3,02 | 4,38 | 4,94 | 4,57 | 4,15 |
| Кировская 89 / ‘Kirovskaya 89’ | 3,62 | 5,12 | 2,88 | 3,91 | 4,08 | 4,24 | 3,97 |
| Среднее по опыту / Average over the experiment | 4,58 | | | | | | |
| Среднее (год) / Average (year) | 4,24 | 5,85* | 3,42 | 4,37 | 4,71 | 4,90* | - |
| НСР ₀₅ (сорт) / LSD ₀₅ (cultivar) | - | | | | | | 0,24 |
| НСР ₀₅ (год) / LSD ₀₅ (year) | 0,16 | | | | | | - |
| НСР ₀₅ (варианты) / LSD ₀₅ (variants) | 0,58 | | | | | | |
| НСР ₀₅ (сорт×год) / LSD ₀₅ (cultivar×year) | 0,58 | | | | | | |
| Коэффициент вариации, CV, % / Coefficient of variation, CV, % | 18 | | | | | | 8 |

* Статистически существенно при уровне значимости $p < 0,05$ / Statistically significant at $p < 0.05$

Фенотипическая изменчивость урожайности по годам была выше ($CV = 18\%$), чем по сортам ($CV = 8\%$), что также указывает на более сильное влияние условий года на урожайность. Наиболее урожайными относительно среднего по опыту выделились 2019 и 2023 гг. (превышение на 1,27 и 0,32 т/га соответственно). Значимое снижение урожайности отмечено в 2018 г. (на 0,34 т/га), в 2020 г. (на 1,16 т/га), в 2021 гг. (на 0,21 т/га), что объясняется негативными агрометеорологическими факторами (ранневесенний возврат холодов в 2018 г., недостаточная влагообеспеченность осенней и весенне-летней вегетации в 2020 и 2021 гг.). Достоверное влияние генотипа позволяет разделить сорта по урожайности на 3 группы относительно стандарта с помощью критерия НСР₀₅. К первой группе относятся сорта Графиня и Лика, достоверно превысившие стандарт (на 0,40 и 0,38 т/га соответственно). Во вторую группу (на уровне стандарта) отнесены сорта Батист, Перепел, Талица, Садко, Флора, в третью – Кировская 89, Фаленская универсальная, Вятка 2, Кипрез, Рушник, уступившие стандарту. Таким образом, сорта

поздних этапов селекции (Графиня, Флора, Батист), включенные в Госреестр селекционных достижений, и сорта, проходящие (Лика) и переданные (Талица) на государственное сортоиспытание, являются высоко- и среднеурожайными. Районированные сорта ранних этапов селекции (Вятка 2, Кировская 89, Рушник), а также сорт Кипрез, по-видимому, имеют недостаточно высокий потенциал продуктивности. Низкая урожайность сорта Фаленская универсальная в среднем за период исследований (4,15 т/га) была связана с его пониженной зимостойкостью ($r = 0,55$). Однако у сорта Кировская 89 с показателем 3,97 т/га такой связи не отмечено ($r = 0,03$).

Установленные в опыте статистически значимые различия генотипов по урожайности позволяют оценить адаптивность сортов, то есть свойство приспосабливаться к различным экологическим условиям. Сорта варьировали по величине параметров адаптивной способности (ОАС_i), стабильности ($\sigma^2 CAC_i$), селекционной ценности генотипа (СЦГ_i), а также по степени отзывчивости на изменение условий среды (b_i) (табл. 3).

Таблица 3 – Параметры адаптивной способности и стабильности сортов озимой ржи по урожайности (2018–2023 гг.) /

Table 3 – Parameters of adaptive capacity and stability of winter rye cultivars by yield (2018–2023)

| <i>Copm / Cultivar</i> | OAC_i / GAA_i | $\sigma^2 CAC_i / \sigma^2 SAA_i$ | $СЦГ_i / SVG_i$ | b_i |
|--|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-------|
| Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard | 0,11 | 0,93 | 2,1 | 1,2 |
| Графиня / 'Grafinya' | 0,51* | 0,70 | 2,9 | 1,0 |
| Лика / 'Lika' | 0,49* | 1,16 | 2,2 | 1,3 |
| Батист / 'Batist' | 0,25* | 0,70 | 2,6 | 0,9 |
| Перепел / 'Perepel' | 0,23* | 0,73 | 2,6 | 1,1 |
| Талица / 'Talitsa' | 0,17 | 1,13 | 2,0 | 1,2 |
| Садко / 'Sadko' | 0,09 | 0,58 | 2,7 | 0,9 |
| Флора / 'Flora' | 0,01 | 1,35 | 1,5 | 1,4 |
| Рушник / 'Rushnik' | -0,18 | 0,73 | 2,2 | 1,1 |
| Кипрез / 'Kiprez' | -0,26 | 0,50 | 2,5 | 0,8 |
| Вятка 2 / 'Vyatka 2' | -0,37 | 0,33 | 2,7 | 0,5 |
| Фаленская универсальная / 'Falenskaya universalnaya' | -0,43 | 0,81 | 1,8 | 0,9 |
| Кировская 89 / 'Kirovskaya 89' | -0,61 | 0,54 | 2,0 | 0,9 |
| НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,09 | - | - | - |

Примечания: ОАС_i – общая адаптивная способность *i*-того генотипа; $\sigma^2 CAC_i$ – вариация специфической адаптивной способности *i*-того генотипа; СЦГ_i – селекционная ценность *i*-того генотипа; b_i – коэффициент регрессии *i*-того генотипа на среду; * статистически существенно при уровне значимости $p < 0,05$ /

Notes: GAA_i – general adaptive ability of *i*-th genotype; $\sigma^2 SAA_i$ – variance of specific adaptive ability of *i*-th genotype; SVG_i – selection value of *i*-th genotype; b_i – regression coefficient of *i*-th genotype on environment; * statistically significant at $p < 0.05$

Сравнение сортов по общей адаптивной способности проводится путем сопоставления эффектов общей адаптивной способности генотипа (OAC_i). Чем больше значение показателя OAC_i сорта, тем выше среднее значение признака в разных средах и, следовательно, способность сорта адаптироваться к широкому диапазону условий среды. Существенно более высокая общая адаптивная способность относительно стандарта выявлена у сортов Графиня, Лика, Батист, Перепел ($OAC_i = 0,23-0,51$). При этом реакция этих сортов на изменение условий была разной. Сорт Графиня лидировал по урожайности в опыте при достаточном увлажнении (2022, 2023 гг.) и неблагоприятных условиях (2020 г.). Сорт Лика показал максимальную урожайность в наиболее благоприятный 2019 год – 6,97 т/га, но на фоне сочетания негативных факторов в 2020 г. (осенняя засуха, недостаток тепла во время возобновления вегетации, недостаток влаги в период «колошение-цветение») снижал урожайность сильнее, чем сорт Графиня (44 против 34 %). Сорт Батист отличался меньшим снижением урожайности при неблагоприятном гидротермическом режиме в 2020 г. (34 против 40 % соответственно) по сравнению с Перепел, который показал более высокую урожайность при недостатке влаги в период «колошение-цветение» в 2021 г. (на 0,24 т/га). Общая адаптивная способность на уровне стандарта выявлена у сортов Талица и Садко ($OAC_i = 0,09-0,17$). Данные сорта реагировали на изменения экологических условий схожим образом со стандартом Фаленская 4, что проявилось в среднем ранге урожайности (5-е и 6-е место из 13 соответственно) за период изучения. Сорт Талица сильнее реагировал на неблагоприятные условия, значительно снижая урожайность, чем Садко (49 против 36 %), но чаще показывал более высокую урожайность как в благоприятных (2019, 2022 гг.), так и в неблагоприятных условиях (2018, 2021 гг.). Предположительно, оба сорта обладают достаточно высокими адаптивными возможностями, но Талица отличался более высоким продуктивным потенциалом.

Достоверно низкая общая адаптивная способность по сравнению со стандартом выявлена у сортов Кировская 89, Фаленская универсальная, Вятка 2, Кипрез, Рушник, Флора ($OAC_i = (-0,61...0,01)$). Сорт Флора не уступал стандарту по урожайности, но при этом отличался максимальными колебаниями значений признака в различных по влагообеспеченности условиях (прирост на 219 % в 2019 г., снижение на 54 % в 2020 г.). Урожайность других сортов

этой группы в меньшей степени варьировала при изменении условий (от 35 % у сорта Вятка 2 до 44 % у сортов Кировская 89 и Рушник).

Стабильность урожайности является целью адаптивной селекции и необходимым свойством сорта для сельскохозяйственного производства с точки зрения повышения устойчивости валовых сборов зерна. В качестве меры стабильности сорта используется коэффициент специфической адаптивной способности ($\sigma^2 SAC_i$). Наиболее стабильными являются сорта с наименьшим значением показателя $\sigma^2 SAC_i$. Чем больше дисперсия $\sigma^2 SAC_i$, тем больше у данного генотипа размах отклонений значения признака в данных условиях от среднего значения в различных условиях. На фоне осмотического стресса в 2020 и 2021 гг. (дефицит осадков в период всходов, осеннего кущения; недостаток осадков в фазы «весеннее кущение» и «колошение») в опыте снизили урожайность все сорта (2020 г.), либо большинство из них (2021 г.). При смене лимитирующего стресс-фактора в 2018 г. (дефицит тепла для возобновления вегетации весной) урожайность снижали также большинство сортов, за исключением Фаленская 4, Вятка 2, Флора, Кипрез. Следовательно, сорта в опыте были более чувствительны к недостатку влаги в критические периоды водопотребления, чем к теплообеспеченности при возобновлении вегетации. Наиболее стабильным за период изучения отмечен сорт Вятка 2 ($\sigma^2 SAC_i = 0,33$), который проявил наибольшую способность поддерживать свойственный ему фенотип в конкретной среде. Однако полегание этого длинностебельного сорта снижало урожайность, даже в благоприятные по гидротермическому режиму годы (2022, 2023 гг.). К достаточно стабильным можно отнести сорта Кипрез, Кировская 89, Садко, Графиня, Батист, Рушник, Перепел ($\sigma^2 SAC_i = 0,50-0,73$). Данные сорта, кроме Кипрез, понижали урожайность при одних и тех же стрессовых условиях (ранневесеннее похолодание, осмотический стресс). Урожайность сорта Кипрез в 2023 г. снизилась в связи с полеганием, что указывает на неустойчивость сорта к специфическим провокационным условиям. Наименьшую стабильность урожайности показали сорта Флора, Лика, Талица ($\sigma^2 SAC_i = 1,13-1,35$), что означает наиболее сильную зависимость их продуктивности от специфических стрессовых факторов года. Сорта Фаленская 4 и Фаленская универсальная заняли промежуточное положение между стабильными и нестабильными. Таким образом, результаты оценки стабильности и продуктивности не совпадали у большинства

сортов в опыте, то есть стабильными являлись сорта с разным уровнем продуктивности. Статистически значимая связь между стабильностью и урожайностью сортов отсутствовала.

Отзывчивость генотипа на улучшение (изменение) условий среды определяют по величине коэффициента регрессии генотипа на среду b_i [19]. Наиболее сильной отзывчивостью на улучшение условий выращивания отличались Флора, Лика, Талица, Фаленская 4, Перепел, Рушник ($b_i = 1,1-1,4$), в связи с этим данные сорта являются пригодными для выращивания по интенсивной технологии. Наименьшую отзывчивость на улучшение условий среды (в виде прибавки урожайности) следует ожидать у сорта Вятка 2 ($b_i = 0,5$), слабая отзывчивость отмечена у сортов Садко, Батист, Кировская 89, Кипрез, Фаленская универсальная ($b_i = 0,8-0,9$). Изменение величины урожайности сорта Графиня полностью соответствует изменению условий среды ($b_i = 1,0$), то есть данный сорт подходит для возделывания по технологиям разного уровня интенсивности.

Заключительная оценка и отбор селекционного материала (сортов) зависит от задач адаптивной селекции [19]. Для озимой ржи в условиях Кировской области более результативной может быть стратегия оценки и отбора селекционного материала на высокую общую адаптивную способность (ОАС) с учетом стабильности, позволяющая контролировать реакцию генотипов на варьирование условий среды. С этой целью используется показатель селекционной ценности генотипа (СЦГ_i) [19]. Сорта с наибольшей величиной СЦГ_i обладают оптимальным сочетанием продуктивности и стабильности, то есть дают гарантированный урожай в различных экологических условиях. Большинство сортов в опыте характеризовались схожим показателем СЦГ_i в пределах от 2,0 до 2,9. Низкие показатели СЦГ_i отмечены у сортов Флора и Лика (1,5 и 1,8 соответственно), что указывает на несбалансированность продуктивных и адаптивных возможностей этих сортов и более сильную связь величины урожайности с условиями выращивания. Максимальное значение показателя СЦГ_i в опыте, равное 2,9, выявлено у сорта Графиня, который сочетает высокую урожайность и стабильность ее формирования в различных агрометеорологических условиях. Относительно высокое значение

показателя СЦГ_i отмечено у сортов Вятка 2, Садко, Перепел, Батист и Кипрез. Присутствие в группе с высокой селекционной ценностью генотипа сортов Вятка 2 и Кипрез можно объяснить высокой стабильностью их урожайности ($\sigma^2\text{CАС}_i = 0,33-0,50$).

Заключение. Таким образом, на урожайность сортов озимой ржи в Кировской области наибольшее влияние оказывают условия выращивания ($h_x^2 = 60\%$). Лимитирующим фактором урожайности при высокой зимостойкости сортов является влагообеспеченность растений в период всходов, осеннего кущения, колошения ($r = 0,48-0,55$), а также гидротермический режим во время возобновления вегетации ($r = -0,92$). Высокой урожайностью за период изучения отличались сорта Графиня (5,09 т/га) и Лика (5,07 т/га) с достоверной прибавкой к стандарту 0,40 и 0,38 т/га соответственно. Сорта Графиня, Лика, Батист и Перепел обладали существенно более высокой общей адаптивной способностью относительно стандарта ($\text{ОАС}_i = 0,23-0,51$). В целом, сорта поздних сроков селекции характеризовались более высокой общей адаптивной способностью ($\text{ОАС} = 0,09-0,51$) по сравнению с ранее созданными ($\text{ОАС} = -0,61...0,01$). Наибольшую стабильность за период изучения показал сорт Вятка 2 ($\sigma^2\text{CАС}_i = 0,33$), к достаточно стабильным относятся Кипрез, Кировская 89, Садко, Графиня, Батист, Рушник, Перепел ($\sigma^2\text{CАС}_i = 0,50-0,73$). Сорта Флора, Лика, Талица отличались наименьшей стабильностью урожайности ($\sigma^2\text{CАС}_i = 1,13-1,35$). Наиболее сильной отзывчивостью на улучшение условий выращивания отличались сорта Флора, Лика, Талица, Фаленская 4, Перепел, Рушник ($b_i = 1,1-1,4$).

В условиях Кировской области оценка сортов по величине показателя «селекционная ценность генотипа» (СЦГ_i) реализует стратегию оценки и отбора селекционного материала на высокую общую адаптивную способность (ОАС) с учетом стабильности ($\sigma^2\text{CАС}$) и позволяет выявить сорта с сочетанием продуктивности и стабильности. Выявлены сорта с высокой селекционной ценностью генотипа – Графиня (СЦГ_i = 2,9), Садко (СЦГ_i = 2,7), Вятка 2 (СЦГ_i = 2,7), Батист (СЦГ_i = 2,6), Перепел (СЦГ_i = 2,6), Кипрез (СЦГ_i = 2,5). Сорт Графиня отличается наилучшим сочетанием высокой урожайности и стабильности.

Список литературы

1. Скатова С. Е., Лачин А. Г. Селекция сортов озимой ржи на совмещение высокой урожайности с устойчивостью к стрессовым биотическим и абиотическим нагрузкам. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: Междунар. научн.-практ. конф. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 132–136. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37201540> EDN EQKPLY
2. Zuo Y., Zhang X., Zuo S., Ren X., Liu Z., Dong L., Li J. Changes of stem characteristics, senescence indexes and yield and quality of wintering rye under different populations. Sustainability. 2021;13(12):6876. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126876>
3. Szuleta E., Phillips T., Knott C. A., Lee C. D., Van Sanford D. A. Influence of planting date on winter rye performance in Kentucky. Agronomy. 2022;12(11):2887. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112887>
4. Hackauf B., Siekmann D., Fromme F. J. Improving yield and yield stability in winter rye by hybrid breeding. Plants. 2022;11(19):2666. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192666>
5. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Научные основы селекции озимой ржи. Казань: изд-во ФЭН, 2019. 352 с.
6. Костенко О. В., Оленин О. А. Территориальное размещение производства зерна ржи: тенденции, факторы. Уфимский гуманитарный научный форум: сб. ст. Междунар. научн. форума. Уфа: Академия наук Республики Башкортостан, 2023. С. 156–163. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54505499> EDN GZCZIG
7. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Шамова М. Г., Парфенова Е. С., Набатова Н. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Шляхтина Е. А. Возделывание озимой ржи в условиях северного земледелия: научно-практические рекомендации. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2021. 120 с.
8. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: Росинформагротех, 2014. 372 с.
9. Петрова А. А., Лихенко И. Е., Артемова Г. В. Актуальность увеличения доли озимой ржи в производственных посевах Западной Сибири. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023;53(3):53–62. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-3-6> EDN PSMOIH
10. Костенко О. В. Состояние и тенденции развития российского рынка озимой ржи. Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: мат-лы IV Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Петра I, 2016. С. 293–298. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26787036> EDN WOERYD
11. 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> EDN UFHSL
12. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А. Способы селекции озимой ржи, позволяющие сочетать в одном сорте высокую урожайность и устойчивость к неблагоприятным условиям среды. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022;(4(44)):144–150. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-144-150> EDN QLXMWA
13. Pomortsev A. V., Dorofeev N. V., Zorina S. Y., Katysheva N. B., Sokolova L. G., Zhuravkova A. S., Mikhailova E. V. Evaluation of population and hybrid varieties of winter rye in the conditions of Eastern Siberia. Agronomy. 2023;13(5):1431. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051431>
14. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617–626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.617rus> EDN: WZJQEN
15. Гудзенко В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(1):110–118. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.469> EDN: YXMGCT
16. Cheshkova A. F., Stepochkin P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomarenko V. I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;24(3):267–275. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.619> EDN: HKAOWK
17. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Левакова О. В., Дедушев И. А., Наумова В. В. Использование метода оценки адаптивной способности, стабильности генотипов и дифференцирующей способности среды в селекции ярового ячменя на повышение качества зерна. Зерновое хозяйство России. 2018;(6):55–59. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-60-6-55-59> EDN: YRLLPF
18. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
19. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Генетические основы селекции растений. Т. 1. Общая генетика растений. Минск: Белорусская наука, 2008. С. 61–75.
20. Рекашус Э. С. Критерий существенности общей адаптивной способности: обоснование метода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(5):30–33. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.30-33> EDN: YPGRZZ

References

1. Skatova S. E., Lachin A. G. Breeding of winter rye varieties for combining high yields with resistance to stressful biotic and abiotic loads. Methods and technologies in plant breeding and crop production: International Scientific and Practical Conference. Kirov: FGBNU FANTs Severo-Vostoka, 2019. pp. 132–136. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37201540>
2. Zuo Y., Zhang X., Zuo S., Ren X., Liu Z., Dong L., Li J. Changes of stem characteristics, senescence indexes and yield and quality of wintering rye under different populations. Sustainability. 2021;13(12):6876. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126876>

3. Szuleta E., Phillips T., Knott C. A., Lee C. D., Van Sanford D. A. Influence of planting date on winter rye performance in Kentucky. *Agronomy*. 2022;12(11):2887. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112887>
4. Hackauf B., Siekmann D., Fromme F. J. Improving yield and yield stability in winter rye by hybrid breeding. *Plants*. 2022;11(19):2666. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192666>
5. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N. Scientific foundations of winter rye breeding. Kazan: *izd-vo FEN*, 2019. 352 p.
6. Kostenko O. V., Olenin O. A. Rye grain production, territorial location: trends, factors. Ufa Humanitarian Scientific Forum: collection of articles of the International Scientific forum. Ufa: *Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan*, 2023. pp. 156–163. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54505499>
7. Utkina E. I., Kedrova L. I., Shamova M. G., Parfenova E. S., Nabatova N. A., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Shlyakhtina E. A. Cultivation of winter rye in the conditions of northern agriculture: scientific and practical recommendations. Kirov: *FGBNU FANTs Severo-Vostoka*, 2021. 120 p.
8. Goncharenko A. A. Current issues of winter rye breeding. Moscow: *Rosinformagrotekh*, 2014. 372 p.
9. Petrova A. A., Likhenko I. E., Artemova G. V. Relevance of increasing the share of winter rye in production crops of Western Siberia. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2023;53(3):53–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-3-6>
10. Kostenko O. V. The state and development trends of the Russian winter rye market. Production and processing of agricultural products: quality and safety management: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Voronezh: *Voronezhskiy GAU im. Petra I*, 2016. pp. 293–298. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26787036>
11. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N., Tsygankova N. V., Skatova S. E., Krakhmaleva O. A. Ecological stability of varieties of winter rye with various type of a short-stem. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2019;(3):3–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627201933-9>
12. Chaykin V. V., Torop A. A., Torop E. A. Winter rye breeding methods to combine high yield and resistance to adverse environmental conditions in one variety. *Zernobobovye i krupyanye kultury* = Legumes and Groat Crops. 2022;(4(44)):144–150. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-144-150>
13. Pomortsev A. V., Dorofeev N. V., Zorina S. Y., Katysheva N. B., Sokolova L. G., Zhuravkova A. S., Mikhailova E. V. Evaluation of population and hybrid varieties of winter rye in the conditions of Eastern Siberia. *Agronomy*. 2023;13(5):1431. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051431>
14. Rybas' I. A. Breeding grain crops to increase adaptability. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):617–626. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>
15. Gudzenko V. N. Statistical and graphical (GGE biplot) evaluation of the adaptive ability and stability of winter barley breeding lines. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(1):110–118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.469>
16. Cheshkova A. F., Stepochnik P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomarenko V. I. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;24(3):267–275. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.619>
17. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko N. A., Levakova O. V., Dedushev I. A., Naumova V. V. The use of the method of adaptability estimation, genotype stability and differential ability of the environment in spring barley breeding to improve grain quality. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(6):55–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-60-6-55-59>
18. Kedrova L. I. Winter rye in the North-Eastern region of Russia. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2000. 158 p.
19. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. Genetic foundations of plant breeding. Vol. 1. General plant genetics. Minsk: *Belorusskaya nauka*, 2008. pp. 61–75.
20. Rekasus E. S. The criterion of significance of general adaptive ability. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(5):30–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.30-33>

Сведения об авторах

✉ **Парфенова Елена Сергеевна**, кандидат с.-х. наук, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства 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: <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>, e-mail: elka1745@yandex.ru

Псарева Екатерина Александровна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

Information about the authors

✉ **Elena S. Parfenova**, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Winter Rye Breeding and Primary Seed Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>, e-mail: elka1745@yandex.ru

Ekaterina A. Psareva, laboratory assistant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Продуктивность ярового ячменя при разных нормах высева и дозах удобрений

© 2024. А. А. Артемьев ✉, Г. Н. Ибрагимова

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

В лесостепных районах Евро-Северо-Востока РФ (Республика Мордовия) выполнены исследования по оптимизации приемов возделывания ярового ячменя сорта Зазерский 85, позволяющих повысить урожайность и улучшить качество зерна. Эксперимент проводили в 2020–2022 гг. на черноземе выщелоченном среднемощном среднетяжелосуглинистом. Изучали нормы высева (4,5; 5,0; 5,5 млн всх. семян/га) и дозы удобрений ($N_{60}P_0K_0$; $N_{32}P_{32}K_{32}$ – до посева (фон), фон + $N_{30-60-90}$ в подкормку). Установлено, что увеличение нормы высева с 4,5–5,0 до 5,5 млн достоверно снижало урожайность зерна ячменя в среднем за годы исследований на 0,61–0,70 т/га соответственно. Урожайность культуры существенно повысилась под влиянием минеральных удобрений – на 1,62–3,42 т/га в сравнении с контролем (2,68 т/га). В целом наибольшая урожайность зерна (6,29...6,47 т/га) получена при высева ячменя с нормами 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га при внесении $N_{32}P_{32}K_{32}$ до посева и N_{60-90} в подкормку в фазе «кущение». Под воздействием удобрений изменялись качественные показатели зерна: повышались натура на 15–33 г/л, масса 1000 зерен – на 0,63–1,53 г, содержание белка – до 13,2 %; снижалась пленчатость на 0,3–0,7 абс. %. Наибольшая выравненность зерна (93,0–94,8 %) отмечена при норме высева 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га в вариантах с азотными подкормками (N_{60-90}) на фоне $N_{32}P_{32}K_{32}$. Максимальная рентабельность производства зерна ячменя сорта Зазерский 85 (103,18 %) получена при норме высева 4,5 млн всх. семян на 1 га при внесении $N_{32}P_{32}K_{32}$ до посева и N_{60} в подкормку в фазу «кущение».

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., высев семян, предпосевное внесение удобрений, подкормка азотом, урожайность, качество зерна, эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0005, рег. № 1021060407720-0).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Артемьев А. А., Ибрагимова Г. Н. Продуктивность ярового ячменя при разных нормах высева и дозах удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):571–582.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.571-582>

Поступила: 14.05.2024

Принята к публикации: 31.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Productivity of spring barley at different seeding rates and doses of fertilizers

© 2024. Andrey A. Artemjev ✉, Galina N. Ibragimova

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

In the forest-steppe of the Euro-North-East of the Russian Federation (The Republic of Mordovia), the research has been carried out to optimize methods for cultivating spring barley of the Zazersky 85 cultivar, which allow to increase yield and improve grain quality. The experiment was carried out in 2020–2022 on leached medium-humic heavy loamy chernozem. There were studied seeding rates (4.5; 5.0; 5.5 million germinating seeds/ha) and doses of fertilizers ($N_{60}P_0K_0$; $N_{32}P_{32}K_{32}$ – before sowing (background); background + $N_{30-60-90}$ – in top dressing). It has been established that increasing the seeding rate from 4.5–5.0 to 5.5 million significantly reduced the barley grain yield by 0.61–0.70 t/ha, respectively, on average over the years of the research. The crop yield increased significantly under the influence of mineral fertilizers – by 1.62–3.42 t/ha compared to the control (2.68 t/ha). In general, the highest grain yield (6.29–6.47 t/ha) was obtained when sowing barley at rates of 4.5 and 5.0 million germinated seeds/ha by the application of $N_{32}P_{32}K_{32}$ before sowing and N_{60-90} as a top dressing in the tillering phase. Under the influence of fertilizers, the quality parameters of grain changed: the grain unit increased by 15–33 g/l, the weight of 1000 grains – by 0.63–1.53 g, the protein content – up to 13.2 %; the film content decreased by 0.3–0.7 abs. %. The highest grain uniformity (93.0–94.8 %) was observed at the seeding rate of 4.5 and 5.0 million germinated seeds/ha in the variants with nitrogen fertilizers (N_{60-90}) against the background of $N_{32}P_{32}K_{32}$. The highest profitability of grain production of the Zazersky 85 barley cultivar (103.18 %) was obtained at the seeding rate of 4.5 million germinated seeds per 1 ha with the application of $N_{32}P_{32}K_{32}$ before sowing and N_{60} as a top dressing in the tillering phase.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., seed sowing, pre-sowing fertilization, nitrogen fertilization, yield, grain quality, efficiency

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0005, reg. No. 1021060407720-0).

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

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

For citation: Artemjev A. A., Ibragimova G. N. Productivity of spring barley at different seeding rates and doses of fertilizers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):571–582. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.571-582>

Received: 14.05.2024

Accepted for publication: 31.07.2024

Published online: 28.08.2024

Большинство сортов зерновых культур, в том числе ярового ячменя, имеют высокий потенциал урожайности и качества продукции [1, 2, 3, 4]. Однако его реализация возможна только через разработку индивидуальной сортовой технологии возделывания, в которой особое место отводится научно обоснованной норме высева и рациональному использованию удобрений [5, 6].

Оптимальная густота стояния растений является одним из важнейших условий, определяющих полноту использования природных факторов для получения высокого урожая хорошего качества в условиях конкретного региона [7, 8]. Это подтверждается проведенными исследованиями в разных регионах России и ближнего зарубежья [1, 9]. В работах ряда авторов обращалось внимание на необходимость выращивания растений в разреженных посевах [10, 11, 12], что способствует получению более полноценного по качеству зерна [13, 14]. Другие исследователи, наоборот, считают, что использование пониженных норм высева приводит к получению невыравненной продукции [15].

В настоящее время при внедрении в производство ресурсосберегающих технологий возделывания полевых культур одной из основных статей расходов остается приобретение семян. Общепринятые нормы высева для яровых зерновых культур составляют около 5,0 млн всх. семян на 1 га. При складывающейся на большинстве площадей полевой всхожести семян это может быть не оправдано. Поэтому при проведении посева необходима оптимизация нормы высева [16].

В условиях лесостепи Евро-Северо-Востока РФ с достаточным разнообразием почвенного покрова рационализация режимов питания ячменя для получения высококачественного зерна требует особого внимания. Дозы удобрений должны устанавливаться по каждому полю с учетом предшественника, почвенного плодородия, величины планируемого урожая,

биологических особенностей сортов [17, 18, 19]. Среди факторов, оказывающих непосредственное влияние на эффективность удобрений, немаловажное значение имеют сроки их внесения. Сильная подвижность азота в почве создает необходимость максимального приближения внесения азота ко времени наиболее интенсивного его потребления [9, 20, 21].

Таким образом, норма высева и доза удобрений являются важными факторами повышения урожайности и улучшения качества зерна ярового ячменя. Однако их эффективность будет высокой, если эти приемы сочетаются с важнейшими агротехническими требованиями. Поэтому их оптимизация должна быть направлена не только на повышение урожайности культуры, но и на улучшение семенных качеств зерна (масса 1000 зерен, крупность, выравненность и др.), имеющих приоритетное значение в современных экономических условиях страны [22, 23]. Именно решение данных вопросов легло в основу работы по совершенствованию технологии возделывания ярового ячменя с учетом особенностей региона, результаты которой представлены ниже.

Цель исследований – оптимизация приемов возделывания (норма высева и применение удобрения) ярового ячменя, позволяющих повысить урожайность и улучшить качество зерна.

Программа исследования предполагала решение следующих задач:

- определение урожайности ярового ячменя в зависимости от нормы высева и доз минеральных удобрений;
- изучение влияния минеральных удобрений и нормы высева на семенные качества ярового ячменя;
- оценка эффективности приемов возделывания ярового ячменя.

Новизна исследований – совершенствование агротехнологических приемов выращивания ярового ячменя, отвечающих современным требованиям производства и направ-

ленных на увеличение производства зерна и улучшение его качества.

Материал и методы. Экспериментальную работу по совершенствованию агротехнологии ярового ячменя проводили в Мордовском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2020–2022 гг.

Исследования проводили на черноземе выщелоченном среднемощном среднегумусном тяжелосуглинистом. Почва имела следующую характеристику: $pH_{\text{сол}} - 5,2^1$, содержание гумуса – 6,2 %², общего азота – 0,36 %³, подвижных форм фосфора и калия⁴ – 173 и 210 мг/кг почвы соответственно.

Реализация обозначенной цели осуществлялась через проведение двухфакторного полевого опыта, сопровождающегося сопутствующими наблюдениями, учетами и анализами. Схема опыта:

1. Норма высева, млн всх. семян на 1 га (фактор А): 4,5; 5,0; 5,5.

2. Минеральные удобрения (фактор В):

$N_0P_0K_0$ (контроль);

$N_{32}P_{32}K_{32}$ – до посева (фон);

Фон + N_{30} в подкормку;

Фон + N_{60} в подкормку;

Фон + N_{90} в подкормку.

Повторность четырехкратная, размещение вариантов систематическое. Размер делянок I порядка – 200 м² (20,0×10,0 м), II порядка – 40 м² (4,0×10,0 м). Агротехника ячменя в опыте общепринятая для региона⁵.

В опыте возделывали сорт Зазерский 85. Удобрения вносили до посева под предпосевную культивацию и в подкормку в фазу «кущение» культуры (разбрасывание по поверхности почвы). Применяли азофоску и аммиачную селитру в соответствии со схемой опыта. Исследования проводили по общепринятым

методикам^{6, 7, 8}. Данные обработаны двухфакторным дисперсионным анализом.

Результаты и их обсуждение. Агроклиматическая характеристика условий вегетации в годы проведения исследований соответствовала зоне лесостепи Евро-Северо-Востока РФ. Для 2020 года была свойственна увлажненная весна (ГТК = 1,8), существенные колебания температурного режима и засушливые условия второй половины вегетации (ГТК = 0,3–0,9), в целом за вегетацию ГТК составил 1,3 (среднемноголетний – 1,09), что было характерно для нормальных условий увлажнения. В 2021 году наблюдались значительные изменения температуры и недобор осадков (дефицит 21 %). ГТК за вегетацию равнялся 0,8, что по условиям увлажнения свидетельствовало о слабой степени засухи. В 2022 году сложились менее засушливые условия погоды, ГТК равнялся 1,01 (нормальное увлажнение), но осадки в течение вегетации распределялись неравномерно.

Формирование густоты стояния зерновых культур начинается с момента прорастания зерновки и определяется полевой всхожестью, анализ которой показал, что как снижение нормы высева с 5,0 до 4,5 млн всх. семян/га, так и ее увеличение до 5,5 млн не вызвали каких-либо изменения данного показателя у изучаемого сорта. Применение минеральных удобрений под предпосевную культивацию и в подкормку также не влияло на показатель полевой всхожести семян ячменя (табл. 1).

В процессе вегетации ячменя на растения действовали различные факторы риска, которые к уборке способствовали уменьшению их количества на единице площади, причем значительно при норме 5,5 млн всх. семян на 1 га (выживаемость в среднем по вариантам с удобрениями составила 81,1 %). Наибольшее количество растений (выживаемость 88,0 %) сохранилось при норме 4,5 млн всх. семян на 1 га.

¹ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

²ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

³ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/ef7/4294828346.pdf>

⁴ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

⁵Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовия: методическое руководство. В. Г. Печаткин, А. М. Гурьянов, А. А. Артемьев и др. Под общ. ред. А. М. Гурьянова. Саранск, 2003. 428 с.

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁷Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 1. 270 с.

⁸Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 195 с.

Таблица 1 – Густота стояния растений ярового ячменя сорта Зазерский 85 в зависимости от нормы высева и дозы удобрений (среднее за 2020–2022 гг.)

Table 1 – Density of Zazersky 85 spring barley cultivar plants depending on the seeding rate and dose of fertilizers (average for 2020–2022)

| Доза удобрений (B) / Dose of fertilizers (B) | | Лабораторная всхожесть, % / Laboratory germination, % | Полевая всхожесть, % / Field germination, % | Выжива- емость, % / Survival rate, % | Густота растений, шт/м² / Plant density, pcs/m² | |
|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------|
| | | | | | всходы / sprouts | перед уборкой / before harvesting |
| Норма высева (A) – 4,5 млн всх. семян/га / Seeding rate (A) – 4.5 mln gern. seeds/ha | | | | | | |
| N0P0K0 (контроль) / (control) | | 96,0 | 80,3 | 86,1 | 361,3 | 311,1 |
| N32P32K32*– фон / Fertilizer background | | 96,0 | 81,4 | 87,0 | 366,3 | 318,7 |
| Фон + N30** / Background + N30 | | 96,0 | 82,5 | 88,2 | 371,2 | 327,4 |
| Фон + N60 / Background + N60 | | 96,0 | 81,6 | 89,4 | 367,2 | 328,3 |
| Фон + N90 / Background + N90 | | 96,0 | 80,9 | 89,5 | 364,1 | 325,8 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | | 96,0 | 81,3 | 88,0 | 366,0 | 322,3 |
| Норма высева (A) – 5,0 млн всх. семян/га / Seeding rate – 5.0 mln gern. seeds/ha | | | | | | |
| N0P0K0 (контроль) / (control) | | 96,0 | 79,7 | 82,9 | 398,5 | 330,3 |
| N32P32K32 – фон / Fertilizer background | | 96,0 | 80,6 | 82,1 | 407,5 | 334,5 |
| Фон + N30 / background + N30 | | 96,0 | 81,2 | 83,4 | 406,0 | 338,6 |
| Фон + N60 / background + N60 | | 96,0 | 80,7 | 84,5 | 403,5 | 340,9 |
| Фон + N90 / background + N90 | | 96,0 | 82,4 | 84,8 | 412,0 | 349,4 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | | 96,0 | 80,9 | 83,5 | 405,5 | 338,7 |
| Норма высева (A) – 5,5 млн всх. семян/га / Seeding rate (A) –5.5 mln gern. seeds/ha | | | | | | |
| N0P0K0 (контроль) / (control) | | 96,0 | 78,3 | 79,3 | 430,6 | 341,5 |
| N32P32K32 – фон / Fertilizer background | | 96,0 | 79,1 | 80,0 | 435,1 | 348,0 |
| Фон + N30 / Background + N30 | | 96,0 | 78,8 | 80,5 | 433,4 | 348,9 |
| Фон + N60 / Background + N60 | | 96,0 | 77,9 | 83,0 | 428,4 | 355,6 |
| Фон + N90 / background +N90 | | 96,0 | 79,0 | 82,9 | 434,5 | 360,2 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | | 96,0 | 78,6 | 81,1 | 432,4 | 350,8 |
| Среднее по фактору B / The average by factor B | N0P0K0 (контроль) / (control) | 96,0 | 79,4 | 82,8 | 396,8 | 327,6 |
| | N32P32K32 – фон / Fertilizer background | 96,0 | 80,4 | 83,0 | 402,9 | 333,7 |
| | Фон + N30 / Background + N30 | 96,0 | 80,8 | 84,0 | 403,5 | 338,3 |
| | Фон + N60 / Background + N60 | 96,0 | 79,8 | 85,6 | 399,7 | 341,6 |
| | Фон + N90 / Background + N90 | 96,0 | 80,8 | 85,6 | 403,5 | 354,1 |

*Внесение до посева; ** подкормка в фазу «кущение» /

*Pre-sowing application; **fertilizing during the tillering phase

Применение удобрений неоднозначно влияло на сохранность растений к уборке по всем изучаемым нормам высева. Так, внесение N₃₂P₃₂K₃₂ под предпосевную культивацию незначительно повышало выживаемость растений в сравнении с контролем, наблюдалась лишь тенденция к увеличению. Применение в подкормку азота в дозе 30 кг д. в./га повышало

данный показатель относительно контроля на 1,3 абс.%, но при этом значение существенно не различалось с фоновым вариантом. Наибольшая выживаемость растений к уборке (85,6 %) отмечена в варианте с внесением N₃₂P₃₂K₃₂ до посева и N₆₀ в подкормку. Дальнейшее увеличение дозы азота в подкормку не вызвало значимых изменений показателя.

Климатические условия вегетационных периодов также влияли на полноту стояния растений ярового ячменя. В более влажную весну 2020 года полевая всхожесть семян была на 2,5–3,5 % выше. Аналогичную закономерность наблюдали по выживаемости растений. Во все годы исследований преимущество по всхожести и сохранности растений к уборке

имел вариант с нормой высева 4,5 млн всх. семян на 1 га. Действие удобрений на формирование густоты растений во все годы исследований было сходным между собой.

Главным показателем действия изучаемых факторов явилась различная по вариантам опыта урожайность ячменя (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность ярового ячменя сорта Зазерский 85 в зависимости от нормы высева и минеральных удобрений, т/га (среднее за 2020–2022 гг.)

Table 2 – Yield of Zazersky 85 spring barley cultivar depending on the seeding rate and mineral fertilizers, t/ha (average for 2020–2022)

| Доза удобрений (B) / Dose of fertilizers (B) | Норма высева, млн всх. семян/га (A) / Seeding rate, mln gern. seeds/ha (A) | | | |
|---|---|------|------|---|
| | 4,5 | 5,0 | 5,5 | среднее по фактору B / the average by factor B |
| N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 2,67 | 2,75 | 2,61 | 2,68 |
| N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / fertilizer background | 4,48 | 4,56 | 3,87 | 4,30 |
| Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 4,81 | 4,93 | 4,21 | 4,65 |
| Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 6,29 | 6,33 | 5,38 | 6,00 |
| Фон + N ₉₀ / background + N ₉₀ | 6,35 | 6,47 | 5,48 | 6,10 |
| Среднее по фактору A / The average by factor A | 4,92 | 5,01 | 4,31 | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ (A) 0,26; (B) 0,35 | | | | |

Как показали результаты исследований, снижение нормы высева с 5,0 до 4,5 млн не вызвало существенного отрицательного влияния на сбор зерна ярового ячменя – разница в урожайности (-0,09 т/га) находилась в пределах ошибки опыта. Повышение нормы высева до 5,5 млн достоверно снижало урожайность ячменя относительно нормы высева 5,0 млн в среднем на 0,7 т/га и относительно нормы 4,5 млн – на 0,61 т/га.

Наибольшее влияние на урожайность ячменя оказали минеральные удобрения. Так, в сравнении с контролем (2,68 т/га) внесение под предпосевную культивацию N₃₂P₃₂K₃₂ повышало урожайность культуры в среднем по нормам высева на 1,62 т/га. Применение в подкормку N₃₀ увеличивало урожай на 42,4 % (+1,97 т/га) относительно контроля и на 7,5 % (+0,35 т/га) относительно варианта с допосевным внесением удобрений (4,3 т/га). Возрастание дозы азота в подкормке с 30 до 60 кг д.в./га способствовал росту продуктивности растений в среднем на 22,5 % (+1,35 т/га), а относительно контроля на 55,3 % (+3,32 т/га). Дальнейшее увеличение дозы азота, вносимого в подкормку, существенно не влияло на урожайность ячменя.

В среднем за три года наибольшая урожайность зерна (6,29...6,47 т/га) получена при

высеве ячменя с нормой 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га при внесении N₃₂P₃₂K₃₂ до посева и N₆₀₋₉₀ в подкормку в фазе «кущение». Наименьший показатель по сбору зерна (2,61 т/га) был отмечен в контроле без удобрений при норме высева 5,5 млн всх. семян/га.

Условия вегетации также оказали влияние на урожайность ярового ячменя. В более увлажненный 2020 год продуктивность ячменя была на 18–25 % выше, чем в другие годы. Во все годы преимущество по урожайности имели варианты с нормой 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га, наименьшую – при норме 5,5 млн всх. семян/га. Применение удобрений было результативнее в более влажный год.

В таблице 3 представлены показатели качества зерна ярового ячменя, значения которых во многом зависели от изучаемых норм высева и доз минеральных удобрений.

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что понижение нормы высева с 5,0 до 4,5 млн всх. семян/га не способствовало достоверному повышению натурной массы зерна, отмечали лишь тенденцию к ее увеличению. При повышении нормы высева до 5,5 млн натура зерна понижалась в среднем на 7–8 г/л относительно предыдущих вариантов.

Таблица 3 – Показатели качества зерна ярового ячменя сорта Зазерский 85 в зависимости от нормы высева и минеральных удобрений (среднее за 2020–2022 гг.) /
Table 3 – Indicators of grain quality of Zazersky 85 spring barley cultivar depending on the seeding rate and mineral fertilizers (average for 2020–2022)

| Доза удобрений (В) / Dose of fertilizers (B) | | Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g | Натура, г/л / Grain unit, g/litre | Пленчатость, % / Filminess of grain, % | Содержание белка, % / Grain protein content, % |
|--|--|---|---|--|--|
| Норма высева (А) – 4,5 млн всх. семян/га / Seeding rate (А) – 4.5 mln gern. seeds/ha | | | | | |
| N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | | 45,91 | 647 | 8,6 | 12,1 |
| N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | | 46,70 | 663 | 8,3 | 12,3 |
| Фон + N ₃₀ / background + N ₃₀ | | 46,95 | 674 | 8,1 | 12,8 |
| Фон + N ₆₀ / background + N ₆₀ | | 47,26 | 684 | 8,0 | 13,3 |
| Фон + N ₉₀ / background + N ₉₀ | | 47,32 | 680 | 7,9 | 13,5 |
| Среднее по фактору А / The average by factor A | | 46,82 | 669 | 8,2 | 12,8 |
| Норма высева (А) – 5,0 млн всх. семян/га / Seeding rate (А) – 5.0 mln gern. seeds/ha | | | | | |
| N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | | 45,30 | 646 | 8,8 | 11,8 |
| N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ –фон / fertilizer background | | 45,90 | 662 | 8,6 | 12,1 |
| Фон + N ₃₀ / background + N ₃₀ | | 46,20 | 673 | 8,3 | 12,9 |
| Фон + N ₆₀ / background + N ₆₀ | | 46,80 | 679 | 8,2 | 13,3 |
| Фон + N ₉₀ / background + N ₉₀ | | 47,00 | 680 | 8,1 | 13,4 |
| Среднее по фактору А / The average by factor A | | 46,20 | 668 | 8,4 | 12,7 |
| Норма высева (А) – 5,5 млн всх. семян/га / Seeding rate (А) – 5.5 mln gern. seeds/ha | | | | | |
| N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | | 44,92 | 642 | 10,2 | 11,7 |
| N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / fertilizer background | | 45,50 | 655 | 9,9 | 12,1 |
| Фон + N ₃₀ / background + N ₃₀ | | 45,82 | 664 | 9,7 | 12,6 |
| Фон + N ₆₀ / background + N ₆₀ | | 46,31 | 671 | 9,6 | 13,0 |
| Фон + N ₉₀ / background + N ₉₀ | | 46,45 | 673 | 9,5 | 13,1 |
| Среднее по фактору / The average by factor A | | 45,80 | 661 | 9,8 | 12,5 |
| Среднее по фактору В/ The average by factor B | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 45,37 | 645 | 9,2 | 11,8 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 46,03 | 663 | 8,9 | 12,1 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 46,32 | 670 | 8,7 | 12,7 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 46,79 | 678 | 8,6 | 13,2 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 46,92 | 677 | 8,5 | 13,3 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ А | | 0,9 | 4 | 1,3 | 0,2 |
| В | | 0,3 | 10 | 0,3 | 0,4 |

Выявлено положительное влияние удобрений на значения показателя «натура зерна» по всем нормам высева (+15...33 г/л). Наибольший эффект (678 г/л) достигнут в варианте с внесением полного минерального удобрения до посева и азота в дозе 60 кг д. в./га в подкормку. Увеличение дозы минерального азота до 90 кг д. в./га при подкормке растений существенно не повлияло на натурную массу зерна.

Максимальное значение показателя «масса 1000 зерен» (46,82 г) отмечено при норме

высева 4,5 млн всх. семян/га, существенно выше (+1,02 г, НСР₀₅ = 0,9) варианта с нормой высева 5,5 млн.

Применение удобрений оказало наибольший эффект на изменение массы 1000 зерен по всем нормам высева (+0,66...1,55 г при НСР₀₅ = 0,3). Высокие значения показателя (46,79–46,92 г) получены при внесении на фоне N₃₂P₃₂K₃₂ азотной подкормки в дозах 60 и 90 кг д. в./га. Такая тенденция сохранялась в разрезе лет исследований.

Между крупностью зерна и пленчатостью существует обратная корреляционная связь – чем крупнее зерно, тем меньше в нем пленок. В наших исследованиях содержание пленки в зерне варьировало от нормы высева и варианта с удобрениями (табл. 3). Минимальная пленчатость (8,2 %) зерна ячменя в среднем по фактору А отмечена при норме высева 4,5 млн всх. семян/га, наибольшая пленчатость (9,8 %) – при высеве культуры с нормой 5,5 млн всх. семян/га. Вариант с нормой 5 млн занимал промежуточное положение.

Внесение удобрений способствовало снижению пленчатости зерна ячменя, хотя каждый последующий вариант достоверно не различался с предыдущим, но каждый из них существенно (-0,3...-0,7 %) отличался от контроля.

В ряде случаев отмечается, что повышение нормы высева сопровождается снижением содержания белка в зерне. В других сказано, что норма высева не оказывает существенного влияния на качество зерна, наблюдалась лишь тенденция к изменению показателей [7, 14]. В наших исследованиях достоверное увеличение белка в зерне ячменя (+0,3 абс.%) отмечено при снижении нормы высева с 5,5 до 4,5 млн всх. семян/га. Сравнение данных норм с 5,0 млн выявило лишь тенденции к увеличению и уменьшению показателя.

Внесение минеральных удобрений положительно влияло на белковость зерна ячменя. Наибольшее содержание белка в зерне (13,2 %) отмечено в вариантах с внесением на фоне $N_{32}P_{32}K_{32}$ подкормки в дозе N_{60} . Увеличение дозы азотной подкормки до 90 кг д. в./га не привело к значительному изменению белковости зерна.

Важным семенным показателем зерна зерновых культур является выравненность, то есть однородность по его крупности. В нашем опыте фракционный состав зерна и его выравненность зависели от изучаемых факторов (табл. 4).

Анализ данных таблицы 4 показал, что возделываемый в опыте сорт ячменя Зазерский 85 существенно по выравненности зерна не реагировал на снижение нормы высева с 5,0 до 4,5 млн всх. семян/га (88,5 и 87,5 % соответственно). При повышении нормы высева с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га происходило снижение однородности зерновой массы на 17,0 абс.% и наблюдался наибольший разброс зерна по фракциям.

Удобрения – самый действенный фактор в повышении выравненности зерна ячменя.

Так, данный показатель в вариантах внесения удобрений при норме 4,5 млн всх. семян/га относительно контроля увеличивался на 3,9...16,7 абс.%, достигая максимальных значений (94,1–94,8 %) при внесении $N_{32}P_{32}K_{32}$ под культивацию и N_{60-90} в подкормку, однако увеличение дозы азота до 90 кг д. в./га не дало значимого роста показателя. При норме 5,0 млн всх. семян/га наблюдалась аналогичная закономерность, когда выравненность увеличивалась на 4,1–13,3 абс.%. При обеих нормах высева сумма наибольших остатков отмечена на двух смежных ситах с шириной отверстий 2,8 и 2,5 мм.

При норме высева 5,5 млн в контрольном варианте величина выравненности была на 1,6 % выше, чем в варианте с внесением $N_{32}P_{32}K_{32}$, в этих вариантах сумма наибольших остатков была на двух смежных ситах с шириной отверстий 2,5 и 2,2 мм. В варианте с внесением $N_{32}P_{32}K_{32}$ и N_{30} в подкормку сумма наибольших остатков отмечена на смежных ситах с шириной отверстий 2,8 и 2,5 мм, а не на ситах 2,5 и 2,2 мм, как в предыдущих вариантах, что было вызвано значительным разбросом зерна на ситах при наибольшей норме высева. Наибольшую выравненность зерна при этой норме высева наблюдали в двух последних вариантах с подкормкой азотом.

Погодные условия вегетационных периодов в годы проведения исследований существенно не влияли на изменение выравненности зерна ярового ячменя.

В целом по опыту наибольшая выравненность зерна (93,0...94,8 %) получена при норме высева 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га на фоне внесения $N_{32}P_{32}K_{32}$ до посева и минерального азота в дозах 60 и 90 кг д. в./га в подкормку, наименьшая величина (68,9 %) зафиксирована на фоне $N_{32}P_{32}K_{32}$ при норме высева 5,5 млн всх. семян/га.

Результаты исследований на черноземе выщелоченном выявили значимую роль изученных агроприемов в повышении урожайности ярового ячменя и улучшении его качества. В то же время объективно оценить эффективность того или иного элемента технологии невозможно только по продуктивности. Необходимо экономическое обоснование агроприемов, так как с агрономической точки зрения решающую роль имеет не достижение максимального урожая, а получение стабильного уровня рентабельности.

Таблица 4 – Влияние нормы высева и минеральных удобрений на фракционный состав и выравненность зерна ячменя сорта Зазерский 85 (среднее за 2020–2022 гг.) /

Table 4 – The influence of seeding rate and mineral fertilizers on the fractional composition and uniformity of Zazersky 85 barley cultivar grain (average for 2020–2022)

| Норма высева (А), млн всх. семян/га / Seeding rate (A), mln germ. seeds/ha | Доза удобрений (В) / Dose of fertilizers (B) | Масса фракции ячменя (г), оставшегося на сите с шириной отверстия, мм / Mass of barley fraction (g) remaining on a sieve with opening width, mm | | | | Выравненность*, % / Grain uniformity, % |
|---|--|---|------|-------|------------------------|---|
| | | 2,8 | 2,5 | 2,2 | поддон / grain tray | |
| 4,5 | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 40,1 | 38,0 | 18,7 | 3,3 | 78,1 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 42,0 | 40,0 | 15,5 | 2,5 | 82,0 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 45,2 | 43,1 | 11,9 | 1,1 | 88,3 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 48,0 | 46,1 | 5,5 | 0,4 | 94,1 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 49,0 | 45,8 | 5,0 | 0,2 | 94,8 |
| Среднее по фактору А / The average by factor A | | 44,8 | 42,7 | 11,3 | 1,5 | 87,5 |
| 5,0 | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 37,0 | 44,0 | 15,6 | 3,4 | 81,0 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 39,1 | 46,0 | 12,1 | 2,9 | 85,1 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 41,2 | 48,1 | 10,0 | 1,0 | 89,2 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 43,0 | 50,0 | 6,8 | 0,2 | 93,0 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 43,3 | 51,0 | 5,7 | 0,0 | 94,3 |
| Среднее по фактору А / The average by factor A | | 40,7 | 47,8 | 10,0 | 1,5 | 88,5 |
| 5,5 | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 25,1 | 36,0 | 34,5 | 4,5 | 70,5 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 27,2 | 38,0 | 30,9 | 4,1 | 68,9 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 29,0 | 41,0 | 27,2 | 2,8 | 70,0 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 31,2 | 42,1 | 26,0 | 0,6 | 73,3 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 32,5 | 42,3 | 24,9 | 0,6 | 74,8 |
| Среднее по фактору А / The average by factor A | | 29,0 | 39,9 | 28,7 | 2,5 | 71,5 |
| Среднее по фактору В / The average by factor B | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 34,1 | 39,3 | 22,9 | 3,7 | 76,5 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 36,1 | 41,3 | 19,5 | 3,16 | 78,6 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 38,4 | 44,1 | 16,0 | 1,6 | 82,5 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 40,7 | 46,1 | 12,76 | 0,4 | 86,8 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 41,6 | 46,3 | 11,86 | 0,26 | 87,9 |

*Сумма наибольших остатков на двух смежных ситах с шириной отверстий 2,8 и 2,5 мм или 2,5 и 2,2 мм /

*The sum of the largest residues on two adjacent sieves with opening widths of 2.8 and 2.5 mm or 2.5 and 2.2 mm

За основу расчетов экономической эффективности изучаемых агроприемов взяты реальные технологические карты возделывания ячменя и нормативные справочники по ценам и затратам, сложившимся в настоящее время (табл. 5).

Анализ показал, что возделывание сорта Зазерский 85 при снижении нормы высева с 5,0 до 4,5 млн всх. семян/га приводило к росту

условно чистого дохода и уровня рентабельности. Возделывание ячменя при норме 5,5 млн всх. семян на 1 га было наименее эффективным.

Применение удобрений повышало рентабельность производства зерна ячменя по сравнению с контрольным вариантом, однако увеличение дозы азота в подкормку с 60 до 90 кг д. в./га снижало рентабельность на 2–14 абс. %.

Таблица 5 – Экономическая оценка приемов возделывания ярового ячменя сорта Зазерский 85 в зависимости от нормы высева и дозы удобрений (среднее за 2020–2022 гг.) /
Table 5 - Economic assessment of the cultivation of Zazersky 85 spring barley cultivar depending on the seeding rate and dose of fertilizers (average for 2020–2022)

| Норма высева (А), млн всх. се- мян/га / Seeding rate (A), mln germ. seeds/ha | Доза удобрений (В) / Dose of fertilizers (B) | Стоимость валового сбора / The cost of gross yield | Затраты на возделывание / Production costs | Условно чистый доход / Net income | Рентабель- ность, % / Profitability, % |
|--|--|---|--|---|--|
| | | тыс. руб/га / thousand rub/ha | | | |
| 4,5 | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 18,69 | 12,77 | 5,92 | 46,35 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 31,36 | 17,97 | 13,42 | 74,68 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 33,67 | 19,82 | 13,85 | 69,87 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 44,03 | 21,67 | 22,36 | 103,18 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 44,45 | 23,47 | 20,98 | 89,39 |
| 5,0 | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 19,25 | 14,33 | 4,92 | 34,35 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 31,92 | 19,63 | 12,39 | 64,44 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 34,51 | 21,38 | 13,13 | 61,41 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 44,31 | 23,23 | 21,08 | 90,74 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 45,29 | 24,05 | 21,24 | 88,31 |
| 5,5 | N ₀ P ₀ K ₀ (контроль) / (control) | 18,27 | 15,89 | 2,38 | 14,97 |
| | N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ – фон / Fertilizer background | 27,09 | 21,09 | 6,0 | 28,44 |
| | Фон + N ₃₀ / Background + N ₃₀ | 29,47 | 22,94 | 6,53 | 28,46 |
| | Фон + N ₆₀ / Background + N ₆₀ | 37,67 | 24,79 | 12,88 | 51,95 |
| | Фон + N ₉₀ / Background + N ₉₀ | 38,36 | 25,61 | 12,75 | 49,78 |

В целом по опыту наибольшая рентабельность производства (103,18 %) по ячменю сорта Зазерский 85 получена при норме высева 4,5 млн всх. семян на 1 га на фоне внесения N₃₂P₃₂K₃₂ до посева и N₆₀ в подкормку.

Закключение. Таким образом, в условиях лесостепных районов Северо-Восточного региона Европейской части РФ для получения наибольшего количества зерна с единицы площади установлены оптимальные нормы высева ярового ячменя сорта Зазерский 85 – 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га. При внесении N₃₂P₃₂K₃₂ до посева и N₆₀₋₉₀ в подкормку в фазу «кущение» данные нормы высева позволили достигнуть урожайности 6,29...6,47 т/га. Повышение нормы до 5,5 млн не приводило к росту урожайности

культуры. Применение минеральных удобрений по всем изучаемым дозам способствовало увеличению урожайности ячменя и улучшению качества зерна, повышая в лучшем варианте (N₃₂P₃₂K₃₂ + N₆₀) содержание белка до 13,2 %. Наибольшая выравненность зерна ячменя (93,0...94,8 %) получена при нормах высева 4,5 и 5,0 млн всх. семян/га на фоне внесения N₃₂P₃₂K₃₂ до посева и N₆₀₋₉₀ в подкормку.

Высокая рентабельность производства зерна ячменя сорта Зазерский 85 (103,18 %) получена при норме высева 4,5 млн всх. семян на 1 га на фоне внесения N₃₂P₃₂K₃₂ до посева и N₆₀ – в подкормку, увеличение дозы азота в подкормку до 90 кг д. в./га – снижало экономическую эффективность производства на 14 %.

Список литературы

1. Melnyk T. V., Yarchuk I. I., Masliiiov S. V. Efficiency of cultivation of hard winter wheat of variety kontynent in conditions of the Northern steppe of Ukraine. Grain crops. 2019;3(1):45–51.
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41322150> EDN: RGLAVC
2. Никифоров В. М., Никифоров М. И., Мамеев В. В. Урожайность и качество зерна сортов ярового ячменя в интенсивных технологиях возделывания. Вестник Брянской ГСХА. 2019;(6(76)):8–13.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41466919> EDN: ZMTEMR

3. Мартынова С. В., Пакуль В. Н. Адаптивный потенциал селекционных линий ярового ячменя в условиях Кузнецкой котловины. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021;51(5):28–35. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-3> EDN: TPPLNH
4. Сурин Н. А., Герасимов С. А., Ляхова Н. Е. Адаптивность и экологическая пластичность ячменя в условиях лесостепи Красноярского края. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023;53(6):15–23. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-2> EDN: CDPVLS
5. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И., Сафонова И. В., Ряполова Я. В. Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(2):83–88. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-83-88> EDN: SQKNPJ
6. Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Кузнецов Д. А. Технология семеноводства яровых зерновых культур: научно-практические рекомендации. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2021. 80 с.
7. Хоконова М. Б., Кудавев Р. Х., Бжеумыхов В. С., Кашукоев М. В., Расулов А. Р. Влияние норм высева на урожай и качество ячменя. Проблемы развития АПК региона. 2022;(2(50)):116–120. DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2022_2_116 EDN: KKRAZE
8. Кузикеев Ж. В., Борадулина В. А., Мусалитин Г. М., Кузикеева А. П. Формирование продуктивности и качества зерна сортов ярового ячменя в зависимости от норм высева и уровня азотного питания в лесостепи Алтайского края. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(3):74–78. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_3_74 EDN: AHDDUZ
9. Вильдфлуш И. Р., Мурзова О. В., Барбасов Н. В. Влияние новых форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность и качество голозерного овса и ярового ячменя. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(2):106–109. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35184787> EDN: XRYYAH
10. Дубровский А. В., Соломатина Н. В., Попова О. В., Ветров В. Ф., Полянский Н. А. Влияние нормы высева на урожайность ярового ячменя в условиях Тамбовской области. Наука и Образование. 2023;6(1):229. Режим доступа: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/5585> EDN: ECAROE
11. Ламажап Р. Р. Урожайность ярового ячменя в зависимости от норм высева и сроков посева в условиях Республики Тыва. Вестник КрасГАУ. 2022;(12(189)):26–31. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-12-26-31> EDN: CVAYLK
12. Горянин О. И., Пронович Л. В., Джангабаев Б. Ж. Оптимизация норм высева ярового ячменя в Поволжье. Аграрный научный журнал. 2023;(11):44–50. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp44-50> EDN: DKSOJB
13. Левакова О. В. Отзывчивость нового сорта ярового ячменя Знатный на норму высева в условиях Рязанской области. Аграрная наука. 2021;(3):70–73. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-70-73> EDN: TTFQGE
14. Владимиров В. П., Гареев И. Р., Бизянов С. Я. Продуктивность и качество зерна ячменя в зависимости от норм высева и расчетных доз удобрений в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(3(10)):21–26. DOI: <https://doi.org/10.17022/800m-6792> EDN: YXZVRA
15. Кузикеев Ж. В., Борадулина В. А., Мусалитин Г. М., Кузикеева А. П. Реакция сортов ячменя на нормы высева и уровень азотного питания на выщелоченных черноземах Алтайского Приобья. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(7):27–31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10704> EDN: CSNCWX
16. Джангабаев Б. Ж., Пронович Л. В., Щербинина Е. В., Горянин О. И. Влияние способов посева и норм высева на продуктивность и эффективность возделывания ярового ячменя в Среднем Заволжье. Молодой ученый. 2016;(27-3(131)):31–33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27535156> EDN: XEOIUP
17. Завьялов Р. О., Соловьева Ю. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность ячменя (*Hordeum Sativum* L.). Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2020;(34(39)):7–11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44244154> EDN: KXANBP
18. Абашев В. Д., Светлакова Е. В., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Денисова А. В. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(1(50)):24–30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476136> EDN: VLMVXV
19. Малков Н. Г., Чухина О. В., Демидова А. И., Перекопский А. Н., Михайлюк А. И. Эффективность технологических приемов возделывания ярового ячменя. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2020;(1(102)):100–110. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10232> EDN: YKYSXE
20. Зинченко В. Е., Гринько А. В., Кулыгин В. А. Влияние элементов технологии на продуктивность ярового ячменя в условиях обыкновенных черноземов. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(5):48–51. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ZSMJYB> EDN: ZSMJYB
21. Калинчева М. М., Феоктистова Н. А., Акшарова В. Г. Минеральные удобрения – стабилизатор продуктивности ярового ячменя на серой лесной почве. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(1):19–21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=YKUSST> EDN: YKUSST

22. Грядунова Н. В., Хмызова Н. Г. Векторы развития селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых и крупяных культур как основа продовольственного суверенитета страны. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021;(3(39)):5–11. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-5-11> EDN: GFJQVU

23. Спиридонов А. М., Николенко П. Г. Семеноводство как фактор повышения эффективности производства зерна. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017;(46):174–182. Режим доступа: <https://elibrary.ru/yorsgf> EDN: YORSGF

References

1. Melnyk T. V., Yarchuk I. I., Masliiov S. V. Efficiency of cultivation of hard winter wheat of variety kontynent in conditions of the Northern steppe of Ukraine. Grain crops. 2019;3(1):45–51.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41322150>

2. Nikiforov V. M., Nikiforov M. I., Mameev V. V. Yield and grain quality of spring barley varieties in the intensive cultivation technologies. *Vestnik Bryanskoy GSKhA* = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2019;(6(76)):8–13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41466919>

3. Martynova S. V., Pakul V. N. Adaptive potential of breeding lines of spring barley in conditions of Kuznetsk Depression. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2021;51(5):28–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-5-3>

4. Surin N. A., Gerasimov S. A., Lyakhova N. E. Adaptability and ecological plasticity of barley under forest-steppe conditions of the Krasnoyarsk Territory. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2023;53(6):15–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-2>

5. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I., Safonova I. V., Ryapolova J. V. New mid-season spring barley cultivar 'Omsky 101'. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019;180(2):83–88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-83-88>

6. Artemjev A. A., Guryanov A. M., Kuznetsov D. A. Technology of seed production of spring grain crops: scientific and practical recommendations. Saransk: *Izd-vo Mordovskogo un-ta*, 2021. 80 p.

7. Khokonova M. B., Kudaev R. Kh., Bzheumykhov V. S., Kashukoev M. V., Rasulov A. R. Influence of seeding rates on the yield and quality of barley. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2022;(2(50)):116–120. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2022_2_116

8. Kuzikeev Zh. V., Boradulina V. A., Musalitin G. M., Kuzikeeva A. P. Formation of productivity and grain quality of spring barley varieties depending on the seeding rates and the level of nitrogen nutrition in the forest-steppe of the Altai territory. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(3):74–78. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_3_74

9. Vildflush I. R., Murzova O. V., Barbasov N. V. The influence of new forms of macro-, micro-fertilizers and growth regulators on the yield and quality of bare oats and spring barley. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2018;(2):106–109. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35184787>

10. Dubrovskiy A. V., Solomatina N. V., Popova O. V., Vetrov V. F., Polyanskiy N. A. The influence of the seeding rate on the yield of spring barley in the conditions of the Tambov region. *Nauka i Obrazovanie*. 2023;6(1):229. (In Russ.). URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/5585>

11. Lamazhap R. R. Yield of spring barley depending on the seeding rates and sowing dates in the conditions of the Republic of Tyva. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2022;(12(189)):26–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-12-26-31>

12. Goryanin O. I., Pronovich L. V., Dzhangabaev B. Zh. Optimization of spring barley seeding rates in the Volga region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):44–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp44-50>

13. Levakova O. V. Responsiveness of a new variety of spring barley notable to the seeding rate in the Ryazan region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(3):70–73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-70-73>

14. Vladimirov V. P., Gareev I. R., Bizyanov S. Ya. Productivity and quality of barley grain depending on seeding rates and the calculated doses of fertilizers in conditions of forest-steppe of the Middle Volga region. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik Chuvash State Agricultural Academy. 2019;(3(10)):21–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17022/800m-6792>

15. Kuzikeev Zh. V., Boradulina V. A., Musalitin G. M., Kuzikeeva A. P. The reaction of barley varieties to seeding rates and the level of nitrogen nutrition in the leached chernozems of Altai Ob region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(7):27–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10704>

16. Dzhangabaev B. Zh., Pronovich L. V., Shcherbinina E. V., Goryanin O. I. The influence of sowing methods and seeding rates on the productivity and efficiency of spring barley cultivation in the Middle Volga region. *Molodoy uchenyy* = Young Scientist. 2016;(27-3(131)):31–33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27535156>

17. Zavyalov R. O., Solovieva Yu. A. Influence of mineral fertilizers on barley yield (*Hordeum sativum* L.). *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta* = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2020;(34(39)):7–11. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44244154>
18. Abashev V. D., Svetlakova E. V., Popov F. A., Noskova E. N., Denisova A. V. Influence of increasing doses and ratios of mineral fertilizers on productivity and quality of barley grain. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2016;(1(50)):24–30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476136>
19. Malkov N. G., Chukhina O. V., Demidova A. I., Perekopskiy A. N., Mikhaylyuk A. I. Effectiveness of spring barley cultivation practices. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2020;(1(102)):100–110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10232>
20. Zinchenko V. E., Grinko A. V., Kulygin V. A. Influence of technology elements on spring barley yields under the conditions of common chernozems. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(5):48–51. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/ZSMJYB>
21. Kalincheva M. M., Feoktistova N. A., Aksharova V. G. Mineral fertilizers is a stabilizer of the productivity of spring barley on gray forest soil. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(1):19–21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=YKUSST>
22. Gryadunova N. V., Khmyzova N. G. Development vectors of breeding and seed production of cereals, legumes and groat crops as the basis of the country's food sovereignty. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2021;(3(39)):5–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-5-11>
23. Spiridonov A. M., Nikolenko P. G. Seed production as a factor of increasing the efficiency of grain production. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2017;(46):174–182. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/yorsgf>

Сведения об авторах

✉ **Артемов Андрей Александрович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией координатного земледелия, зам. директора по научной работе, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р. п. Ялга, г. о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Ибрагимова Галина Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р. п. Ялга, г. о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-3413>

Information about the authors

✉ **Andrey A. Artemjev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Coordinate Farming, Principal Director for Scientific Research, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Galina N. Ibragimova, junior researcher, the Laboratory of Primary Seed Production, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-3413>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Результаты испытаний новых селекционных гибридов картофеля в условиях Волго-Вятского региона

© 2024. О. Н. Башлакова✉

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

В период с 2020 по 2022 г. в условиях Кировской области проведена оценка гибридных комбинаций картофеля по важнейшим признакам – продуктивность и урожайность, потребительские и товарные качества клубней. В качестве объектов исследования использованы новые гибриды картофеля селекции Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: 6-17 (Горняк x Манифест); 15-17 (428-05 x Манифест); 33-17 (132-07 x Манифест); 72-17 (Горняк x Ирбицкий); 78-17 (Удача x 428-05); 120-17 (Утенок x Регги); 25-16 (Купалинка x 428-05), которые выделены в качестве перспективных по результатам исследований 2016–2022 гг. В качестве стандарта использовали среднеранний сорт Невский, допущенный к использованию в Кировской области. Согласно методическим указаниям селекционного процесса картофеля, в питомнике были проведены фенологические наблюдения, оценка по продуктивности (на 65-й день), общей и товарной урожайности, определен химический состав клубней. В среднем за три года испытаний по комплексу хозяйственно ценных признаков выделен перспективный селекционный номер 33-17 – достоверное превышение общей урожайности (29,9 т/га) над стандартным сортом Невский составило 14,6 т/га. Клубни овальные с красной слегка сетчатой кожурой, глазки мелкие, неокрашенные, мякоть белая. Кроме того, при оценке продуктивных возможностей гибридов картофеля коэффициент адаптивности селекционного номера 33-17 составил 1,40, что дает возможность рекомендовать его для возделывания в данном регионе с целью получения стабильных урожаев.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., селекционный питомник, сорт, продуктивность, урожайность, степень устойчивости, коэффициент адаптивности, химический состав клубней, крахмал

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0007).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Башлакова О. Н. Результаты испытаний новых селекционных гибридов картофеля в условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):583–591.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.583-591>

Поступила: 13.03.2024

Принята к публикации: 22.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Test results of new breeding potato hybrids in the conditions of the Volga-Vyatka region

© 2024. Olga N. Bashlakova✉

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

In the period from 2016 to 2022 in the conditions of the Kirov region, an assessment of hybrid potato combinations was carried out according to the most important traits - high productivity and yield, marketable and consumer qualities of tubers. New potato hybrids bred by the Falenki Breeding Station – branch of the FARC North-East were used as the objects of the research: 6-17 ('Gornyak' x 'Manifest'); 15-17 (428-05 x 'Manifest'); 33-17 (132-07 x 'Manifest'); 72-17 ('Gornyak' x 'Irbitsky'); 78-17 ('Udacha' x 428-05); 120-17 ('Utyonok' x 'Reggi'); 25-16 ('Kupalinka' x 428-05). They were noted as the most promising ones according to the results of the research of 2016–2022. The medium-early 'Nevsky' cultivar approved for use in the Kirov region was used as a standard. According to the methodological guidelines of the potato breeding process, phenological observations, productivity assessment (on day 65), total and commercial yields were carried out in the nursery, and the chemical composition of tubers was determined. As a result, on average, over three years of testing for a complex of economically valuable traits, a promising breeding number 33-17 was identified – a significant excess of the total yield (29.9 t/ha) over the standard 'Nevsky' cultivar was 14.6 t/ha. The tubers are oval with a red, slightly reticulated skin, the eyes are small, unpainted, the flesh is white. In addition, when evaluating the productive capabilities of potato hybrids, the coefficient of adaptability of breeding number 33-17 was 1.40, which makes it possible to recommend it for cultivation in this region in order to obtain stable yields.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., breeding nursery, cultivar, productivity, yield, degree of stability, coefficient of adaptability, chemical composition of tubers, starch

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

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

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

For citations: Bashlakova O. N. Test results of new breeding potato hybrids in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):583–591. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.583-591>

Received: 13.03.2024

Accepted for publication: 22.07.2024

Published online: 28.08.2024

На начало 2023 года в Государственном реестре¹ зарегистрировано 506 сортов картофеля, из них 270 отечественных. Российские научные организации совместно с предприятиями реального сектора экономики в 2023 году произвели около 20 тыс. тонн элитных семян, что составляет почти 50 % потребности российского рынка. При сохранении таких темпов производительности Россия уже к 2025 году выйдет на уровень обеспеченности отечественным семенным материалом картофеля высших репродукций. Анализ российского рынка картофеля показал, что за период с 2013 года доля хозяйств населения в производстве картофеля снизилась с 77,7 до 65,8 % при одновременном увеличении доли сельхозорганизаций (СХО) с 13,8 до 21,0 %, крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) и индивидуальных предпринимателей (ИП) – с 8,6 до 13,3 %. По данным экспертов, в последующие годы ожидается дальнейшее сокращение доли хозяйств населения в производстве картофеля. Увеличение валового производства в СХО, КФХ и ИП может быть достигнуто расширением площадей посадок и, особенно, повышением урожайности этой культуры [1]. В 2023 году валовой сбор картофеля этих участников рынка составил 8400 тыс. тонн при средней урожайности 25,5 т/га.

В последние годы, благодаря различным государственным программам и поддержке отрасли картофелеводства в сфере производства и оборота товарного и семенного картофеля, доступнее стали интенсивные технологии возделывания. При достаточной обеспеченности современной техникой и разработками лимитирующим фактором эффективности может стать неправильно подобранный сорт. На фоне наращивания объемов производства товарного и семенного картофеля возрастают требования сельхозтоваропроизводителей к современным сортам – это высокие и стабильные показатели урожайности, товарности и качества продукции для гарантированного сбыта, привлекательный внешний вид, высокие вкусовые и столовые качества клубней. Обязательным условием для выбора сорта является его адап-

тивность к почвенно-климатическим условиям выращивания. Исследования особенностей формирования урожайности у различных сортов картофеля и их реакции на условия внешней среды имеет особую актуальность и практическую значимость для создания региональной системы производства [2, 3, 4, 5].

Каждый сорт должен пройти госсортоиспытания и быть рекомендован для возделывания в определенной климатической зоне страны. Волго-Вятский регион относится к 4 региону допуска сортов в производство: Кировская, Нижегородская, Свердловская области, Пермский край, республики Марий Эл, Удмуртская и Чувашская. К возделыванию на территории региона допущен всего 131 сорт, из них 7 селекции Фаленской селекционной станции – Алиса, Виза, Вираз, Глория, Голубка, Огниво, Чайка, включенные в Госреестр за период с 2002 по 2018 год. Очевидно, что перед селекционерами стоит задача по созданию сортов картофеля с комплексом хозяйственно ценных признаков для конкретных условий выращивания.

Большинство исследований по созданию новых сортов картофеля направлены на изучение уровня продуктивности, урожайности, устойчивости к заболеваниям, товарной привлекательности клубней. Однако тенденции последних лет вносят корректировки в требования к качественным показателям сортов картофеля и пригодности их не только для переработки на картофелепродукты (сухое пюре, чипсы, картофель фри), но и в качестве сырья для производства крахмала и побочных продуктов. По данным Росстата, объем переработки картофеля в Российской Федерации в 2022 году составил 376,9 тыс. тонн, около 6 % от общего валового сбора. Уровень переработки картофеля в России очень низкий, в первую очередь, из-за отсутствия качественной сырьевой базы в необходимом объеме. При ориентировании на создание сорта картофеля для переработки его характеристики должны соответствовать следующим требованиям: массовая доля сухого вещества – 20–25 %; редуцирующих сахаров – 0,2–0,5 %; крахмала – не менее 16 % [6].

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 631 с.

Углеводы присутствуют в картофеле главным образом в виде крахмала. В зависимости от сорта в клубнях содержится от 17 до 30 % сухого вещества, в котором 70–80 % приходится на крахмал и до 3 % – на белковые вещества. Многие сорта картофеля отличаются высоким содержанием белка (туберина), имеющего большое значение в обмене веществ в организме человека. Важным свойством картофельного белка является то, что он характеризуется повышенным содержанием лизина, лимитирующего пищевую ценность почти всех растительных белков, обладает почти 100%-ной перевариваемостью и усвояемостью в организме человека и животных. Наряду с белком в картофеле имеются свободные аминокислоты, на их долю приходится до 50 % от суммы веществ небелкового азота, биологическая ценность которых не уступает самому белку. Поэтому в клубнях картофеля зачастую определяют не содержание чистого белка, а так называемый сырой протеин, включающий в свой состав и небелковые азотистые соединения. По способности и скорости производить белок и крахмал на единицу площади картофель превосходит все другие сельскохозяйственные культуры [7].

Селекция картофеля направлена на достижение сложных и трудносочетаемых целей. Приоритетным становится, в том числе, соединение стрессоустойчивости сорта с его способностью к эффективному усвоению питательных веществ для лучшего реагирования на развивающиеся климатические изменения. В настоящее время процесс создания сорта занимает 10–12 лет. Успешная селекционная работа основана на больших объемах исходного материала (не менее 100 тыс. генотипов). Сортами становятся не более 2-3, а остальные бракуются в результате многолетней всесторонней оценки.

Комплекс параметров хозяйственно ценных признаков клубней, характеризующих тот или иной сорт, формируется, прежде всего, в процессе селекции, а реализуется уже при определенных почвенно-климатических условиях и технологии выращивания [8, 9].

Цель исследований – оценить перспективные селекционные гибриды картофеля сред-

нераннего срока созревания по хозяйственно ценным признакам в условиях Кировской области (Волго-Вятский регион), выделить лучшие по продуктивности, урожайности, потребительским и товарным качествам.

Научная новизна – в результате селекционных этапов оценки и отбора выделен перспективный гибрид картофеля 33-17, отвечающий требованиям производителей товарного картофеля и частного сектора по сроку спелости в Волго-Вятском регионе, продуктивности и внешнему виду клубней.

Материал и методы. Экспериментальная работа проведена в 2016-2022 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Селекционная работа по созданию новых гибридов и сортов для государственного испытания начиналась с питомника одноклубневок, полученных с Фаленской селекционной станции. В 2016 году было высажено 2168 гибридов, в 2017 – 1552 гибрида. Селекционный материал последовательно прошел все питомники: гибриды 2-го года, предварительное и основное испытание. В результате оценки и отбора к 2022 году осталось 7 селекционных гибридов в питомнике основного испытания картофеля, перспективных для передачи на ГСИ в качестве нового сорта: 6-17 (Горняк х Манифест), 15-17 (428-05×Манифест), 33-17 (132-07×Манифест), 72-17 (Горняк× Ирбицкий), 78-17 (Удача×428-05), 120-17 (Утенок×Регги), 25-16 (Купалинка×428-05). В качестве стандарта использовали сорт Невский, среднераннего срока созревания.

Почва участка, на котором были размещены селекционные питомники, дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин, $pH_{\text{сол}}$ – 4,6; содержание подвижного фосфора – 169 мг/кг, обменного калия – 172 мг/кг (по Кирсанову). Наблюдения, учеты и оценку проводили согласно методическим указаниям по технологии селекционного процесса картофеля^{2, 3}.

Соответствие качества семенных клубней определяли согласно ГОСТ 33996-2016⁴. Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁵.

²Симаков 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.

³Методика оценки сортов на отличимость, однородность и стабильность на основе методик UPOV/23/5. Официальный бюллетень Госкомиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений РФ. 2002. № 6. С. 13.

⁴ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества.

М.: Стандартинформ, 2017. 31 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/63695/>

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

Коэффициент адаптивности (Ka) рассчитан по методике⁶ выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм по параметру «урожайность».

Оценку селекционного материала по биохимическому составу клубней⁷ проводили в лаборатории агрохимии и качества ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: содержание сухого вещества – методом высушивания до постоянного веса; крахмала – методом Эверса; аскорбиновой кислоты (витамин С) по И. Мурри; общего азота методом Кьельдаля в модификации Сереньева. Содержание сырого белка (%) вычисляли путем умножения количества общего азота (%) на коэффициент 6,25, редуцирующие сахара – фотометрическим методом с использованием пикриновой кислоты.

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия вегетационных периодов различались в годы испытаний. При оценке условий вегетации исходили из того, что опти-

мальный диапазон температуры воздуха для роста растений картофеля – 17–20 °С, температуры почвы для формирования клубней – 18–19 °С. Наблюдения за погодными условиями в конкретные годы позволяют сделать выводы о повышенной температуре воздуха в критические для развития растений картофеля периоды вегетации. Стресс, даже непродолжительный по времени, вызываемый высокими температурами, является причиной формирования клубней с деформацией, частичного изменения цвета кожуры и некроза мякоти. Растения картофеля в наших исследованиях в различные годы вступали в фазу «бутонизация» после 20 июня. В 2016, 2018, 2020 и 2022 гг. условия июля по температурному режиму можно оценить как неблагоприятные, так как средняя температура воздуха превышала норму на 1,1–2,5 °С. В отдельные дни наблюдали жару на уровне 30 °С (табл. 1).

Таблица 1 – Метеоусловия в период вегетации гибридов картофеля (г. Киров, по данным Кировского ЦГМС – филиала ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС») /

Table 1 – Weather conditions during the growing season of potato hybrids (Kirov, according to the Kirov CGMS – branch of the Federal State Budgetary Institution Verkhne-Volzhskoye UGMS)

| Год / Year | Май / May | | Июнь / June | | Июль / July | | Август / August | |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | Температура воздуха / Air temperature | | | | | | | |
| | °C | ± от нормы / ± of the norm | °C | ± от нормы / ± of the norm | °C | ± от нормы / ± of the norm | °C | ± от нормы / ± of the norm |
| 2016 | 14,0 | +3,2 | 16,5 | +0,1 | 20,8 | +2,5 | 20,9 | +5,7 |
| 2017 | 7,6 | -3,2 | 13,7 | -2,7 | 17,6 | -0,7 | 17,1 | +2,0 |
| 2018 | 11,6 | +0,8 | 14,4 | -1,7 | 20,6 | +2,5 | 16,6 | +1,5 |
| 2019 | 13,6 | +2,8 | 15,8 | -0,6 | 16,1 | -2,2 | 13,4 | -1,8 |
| 2020 | 12,1 | +0,9 | 15,3 | -2,4 | 20,5 | +1,6 | 15,1 | -0,5 |
| 2021 | 15,0 | +3,8 | 19,9 | +3,4 | 19,2 | +0,3 | 18,8 | +3,2 |
| 2022 | 8,5 | -3,4 | 16,1 | -0,3 | 20,0 | +1,1 | 20,0 | +4,0 |
| Среднее / Average | 11,8 | - | 15,9 | - | 19,3 | - | 17,4 | - |
| Осадки / Rainfall | | | | | | | | |
| Год / Year | мм / mm | % от нормы / % of the norm | мм / mm | % от нормы / % of the norm | мм / mm | % от нормы / % of the norm | мм / mm | % от нормы / % of the norm |
| 2016 | 30 | 54 | 25 | 36 | 116 | 138 | 48 | 68 |
| 2017 | 56 | 102 | 88 | 126 | 159 | 189 | 39 | 55 |
| 2018 | 36 | 55 | 85 | 122 | 114 | 135 | 62 | 87 |
| 2019 | 38 | 68 | 93 | 134 | 57 | 68 | 63 | 88 |
| 2020 | 89 | 165 | 40 | 57 | 100 | 130 | 61 | 79 |
| 2021 | 57 | 105 | 63 | 80 | 94 | 122 | 37 | 48 |
| 2022 | 53 | 99 | 118 | 145 | 57 | 71 | 18 | 24 |
| Среднее/ Average | 51 | - | 73 | - | 99 | - | 47 | - |

⁶Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3–6.

⁷Кирюхин В. П. Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. М.: НИИКС, 1989. 142 с.

Анализируя данные таблицы 1 за годы исследований, можно сделать вывод, что в 2016, 2020 и 2021 гг. недостаток влаги в виде осадков наблюдали в июне, в 2019 и 2022 – июле. Август во все годы наблюдений отмечен дефицитом влаги – от 24 до 88 % нормы. В целом, по сумме осадков и температурным условиям за месяцы вегетации с мая по август, самым неблагоприятным отмечен 2016 год – сумма составила 219 мм, а растения картофеля требуют обеспеченности не менее 300 мм осадков за сезон.

При наблюдаемых в последние два года погодных условиях – повышенные температуры воздуха и отсутствие влаги в критический период возделывания картофеля – стоит делать ставку на селекционные образцы с ранним образованием клубней и последующим быстрым накоплением урожая. Для этого необходимо в ходе испытаний гибридов оценить их способность формировать раннюю товарную продукцию, пригодную для реализации. В наших

исследованиях гибриды оценивали по продуктивности на 65-й день от посадки путем пробных копок в нескольких учетных точках (табл. 2). Результаты оценки показали, что в среднем за три года продуктивность с куста составила от 371,7 до 636,7 г, наибольшая отмечена у гибридов 33-17, 25-16, 6-17. По крупности клубня в первую учетную копку косвенно можно судить о раннеспелости сорта картофеля. Среди исследуемых гибридов на уровне стандарта выделен номер 25-16 со средней массой клубня 44,0 г. Число дней от посадки до формирования товарного урожая, согласно градации сортов картофеля по группам спелости для среднеранних сортов, составляет 70–80 дней. По нормативным документам товарными считаются клубни массой не менее 40 г. В наших исследованиях четыре гибрида – 6-17, 15-17, 33-17 и 25-16 имели среднюю массу клубня более 40 г на 65-й день от посадки, и они могут быть отнесены к группе среднеранних.

Таблица 2 – Продуктивность гибридов картофеля (2020...2022 гг.) /
Table 2 – Productivity of potato hybrids (2020...2022)

| Гибрид / Hybrid | Количество клубней, шт/куст / Number of tubers, pcs/bush | | | | Масса клубней, г/куст / Weight of tubers, g/bush | | | | Средняя масса клубня, г / Average tuber weight, g |
|--|---|---------|---------|----------------------|---|---------|---------|----------------------|--|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | среднее / average | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | среднее / average | |
| | На 65-й день / On the 65th day | | | | | | | | |
| Невский, ст. / ‘Nevsky’, st | 14,0 | 8,0 | 7,0 | 9,7 | 448,0 | 472,5 | 372,5 | 431,0 | 44,4 |
| 6-17 | 11,0 | 7,5 | 16,5* | 11,7 | 305,0 | 552,5 | 640,0* | 499,2 | 42,7 |
| 15-17 | 10,0 | 6,5 | 11,0* | 9,2 | 495,0 | 235,0 | 475,0* | 401,7 | 43,7 |
| 33-17 | 18,0 | 14,0* | 15,0* | 15,7* | 575,0 | 577,5 | 757,5* | 636,7* | 40,6 |
| 72-17 | 18,0 | 12,0 | 12,0* | 14,0* | 380,0 | 272,5 | 462,5* | 371,7 | 26,6 |
| 78-17 | 17,0 | 13,5* | 13,5* | 14,7* | 260,0 | 490,0 | 562,5* | 437,5 | 29,8 |
| 120-17 | 10,0 | 15,0* | 7,5 | 10,8 | 395,0 | 427,5 | 437,5 | 420,0 | 38,9 |
| 25-16 | 13,0 | 12,5* | 12,5* | 12,7 | 550,0 | 422,5 | 705,0* | 559,2 | 44,0 |
| HCP _{0,5} / LSD ₀₅ | 4,4 | 4,3 | 2,9 | 3,3 | 171,1 | 141,2 | 86,7 | 133,0 | - |
| На 85-й день / On the 85th day | | | | | | | | | |
| Невский ст. / ‘Nevsky’, st. | 12,5 | 7,0 | 9,0 | 9,5 | 730,0 | 685,0 | 635,0 | 683,3 | 71,9 |
| 6-17 | 10,5 | 9,5 | 14,5* | 11,5 | 617,5 | 1112,5* | 685,0 | 805,0 | 55,5 |
| 15-17 | 12,5 | 12,0* | 11,0 | 11,8 | 520,0 | 805,0 | 560,0 | 628,3 | 53,2 |
| 33-17 | 12,0 | 12,5* | 15,0* | 13,2 | 812,5 | 855,0 | 855,0* | 840,8 | 63,7 |
| 72-17 | 21,0* | 8,0 | 20,5* | 16,5* | 765,0 | 480,0 | 905,0* | 716,7 | 43,4 |
| 78-17 | 16,5* | 21,5* | 13,5* | 17,2* | 590,0 | 730,0 | 495,0 | 605,0 | 35,2 |
| 120-17 | 12,0 | 11,0* | 8,5 | 10,5 | 485,0 | 705,0 | 560,0 | 583,3 | 55,6 |
| 25-16 | 26,5* | 10,5 | 23,5* | 20,2* | 1765,0* | 750,0 | 1090,0* | 1201,7* | 59,4 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 3,7 | 3,7 | 3,2 | 4,9 | 197,2 | 204,2 | 107,8 | 255,2 | - |

* Уровень вероятности P > 0,95 / * Probability level P > 0.95

С целью определения динамики формирования урожая учет продуктивности гибридов проводили и на 85-й день от посадки (табл. 2). Данные показали, что растения гибрида 25-16 сформировали максимальную и достоверную к стандарту в среднем за 3 года продуктивность – 1201,7 г/куст (прирост за 20 дней составил в среднем 642,5 г/куст). Гибрид 25-16 (Купалинка×428-05) многоклубневый (в среднем 20,2 шт/куст), максимальное количество получено в 2020 году (26,5 шт/куст). Растения гибрида высотой до 50 см, куст полуразветвленный. Окраска венчика сине-фиолетовая, цветение слабое. Клубни округло-овальной формы со светло-бежевой кожурой, глазки мелкие неокрашенные, мякоть белая. Рекомен-



Рис. Внешний вид клубней гибрида картофеля 33-17 /
Fig. Appearance of potato hybrid tubers 33-17

Используя данные продуктивности, расчетным путем у гибридов была определена урожайность на 65-й день, уровень которой может служить характеристикой их способности к раннему накоплению урожая. Достоверной прибавки по урожайности у гибридов к стандарту Невский не выявлено. Наибольшая урожайность ранней продукции отмечена у гибрида 33-17 – 23,6 т/га, у которого получен наибольший уровень конечной урожайности как в среднем за 3 года – 29,9 т/га (прибавка к стандарту +14,6 т/га), так и отдельно по годам (табл. 3).

Гибрид 25-16 на 65-й день сформировал 97,2 % общего урожая. Этот показатель максимально близок к стандарту Невский и подтверждает, что растения гибрида способны к раннему формированию клубней и быстрому накоплению урожая.

дуется как перспективный гибрид среднераннего срока созревания с высокой продуктивностью и товарностью клубней – 86,3 % (табл. 3).

Достаточно стабильно за годы наблюдений по всем показателям показал себя гибрид 33-17 (132-07× Манифест) – наибольшая средняя масса клубня – 63,7 г, высота растений до 70 см, куст прямостоячий, венчик цветков сине-фиолетовый с интенсивной окраской. Клубни овальные с красной, слегка сетчатой кожурой, глазки мелкие, неокрашенные, мякоть белая. Рекомендован как высокоурожайный гибрид со стабильной урожайностью по годам, высокой выравненностью гнезда с привлекательными красными клубнями (рис.).



По оценке товарности – наличие в уборочной пробе клубней более 30 мм в диаметре и весом более 40 г – наибольший процент (90,7) отмечен у гибрида 33-17, на уровне стандарта Невский.

Оценка адаптивности позволяет уже на этапе создания сорта оценить его пригодность к конкретной почвенно-климатической зоне, так как в качестве родительских форм в процессе скрещивания использованы сорта и сортообразцы различных регионов происхождения.

Средний за три года коэффициент адаптивности (Ка) позволяет определить продуктивные возможности сорта: если Ка превышает единицу, то такой сорт потенциально является адаптивным. Высокую адаптивность к условиям возделывания (1,40) показал гибрид 33-17 со стабильно высокой урожайностью по годам.

Таблица 3 – Урожайность гибридов картофеля /
Table 3 – Yield of potato hybrids

| Гибрид / Hybrid | Урожайность на 65-й день от посадки, т/га (среднее за 2020–2022 гг.) / Yield on the 65 th day from planting, t/ha (average for 2020–2022) | В % к общей урожаемости / In % of total yield | Урожайность общая, т/га / Total yield, t/ha | | | Товарность, % (среднее за 2020–2022 гг.) / Merchantability, % (average for 2020– 2022) | Коэффициент адаптивности (среднее за 2020–2022 гг.) / Coefficient of adaptability (average for 2020–2022) |
|---------------------------------------|---|--|--|---------|---------|---|--|
| | | | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | | |
| Невский, ст. / 'Nevsky', st. | 15,1 | 98,7 | 18,2 | 17,2 | 10,7 | 90,7 | 0,72 |
| 6-17 | 18,8 | 78,7 | 16,8 | 32,9* | 22,2* | 89,8 | 1,10 |
| 15-17 | 14,7 | 75,8 | 14,6 | 23,8 | 19,7* | 85,9 | 0,90 |
| 33-17 | 23,6 | 78,9 | 24,7* | 32,4* | 32,7* | 90,7 | 1,40 |
| 72-17 | 14,1 | 64,7 | 23,8 | 19,3 | 22,3* | 86,1 | 1,03 |
| 78-17 | 16,4 | 83,7 | 18,6 | 27,6* | 12,7 | 86,8 | 0,90 |
| 120-17 | 15,2 | 76,8 | 17,1 | 24,8* | 17,4* | 84,9 | 0,82 |
| 25-16 | 20,9 | 97,2 | 26,3* | 16,5 | 21,7* | 86,3 | 1,03 |
| Средняя / Average | - | - | 20,0 | 24,3 | 19,9 | - | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 9,4 | - | 5,9 | 7,0 | 5,8 | 5,9 | - |

* Уровень вероятности P > 0,95 / * Probability level P > 0,95

В наших исследованиях гибриды были оценены по потребительским качествам (табл. 4).

Результаты исследования наших образцов показали, что содержание сухого вещества в клубнях находилось в диапазоне 18,44...31,21 %, крахмала – 12,54...23,77 %. По среднему показателю содержания сухого вещества и крахмала выделился селекционный номер 15-17. Клубни гибрида овальные с бежевой кожурой и поверхностными неокрашенными глазками, мякоть очень белая.

По содержанию аскорбиновой кислоты отличился стандарт Невский – 16,41 мг%. Максимальное содержание за все годы испытаний отмечено у номера 25-16 – 16,98 мг%. По данным литературы, содержание аскорбиновой кислоты в клубнях находится в границах изменчивости от 5 до 40 мг% [10]. Величина зависит так же от физиологической фазы развития – максимального значения содержание аскорбиновой кислоты достигает в момент полной зрелости клубней, когда они находятся ещё на материнском растении, при хранении этот показатель снижается.

В отличие от аскорбиновой кислоты содержание сахаров в клубне при хранении возрастает, особенно когда температура хранения приближается к нулю. Перерабатывающая промышленность заинтересована в сортах картофеля с низким содержанием редуцирующих сахаров – не более 0,5 %, так как это влияет на цвет готового продукта (чипсы, картофель фри). Несмотря на то, что содержание сахаров считается довольно устойчивым сортовым признаком, в наших исследованиях видна разница между двумя годами исследований. Низкий уровень содержания сахаров в целом отмечен в 2022 году – менее 0,5 % у номеров 33-17, 72-17, 120-17 и 25-16. В среднем за три года наименьший показатель зафиксирован у стандарта Невский.

Содержание сырого протеина нормируется в основном специальными требованиями для сортов столового назначения, которые рекомендуются для употребления в свежем виде. Сорта картофеля для ранней продукции должны

содержать белка 1,0...1,2 %, для длительного зимнего хранения – 1,3...2,0 %, диетического питания – 2,5...3,0 % [11]. Наши селекционные

номера картофеля по этому показателю относятся к группе, пригодной на зимнее хранение с диапазоном содержания белка 1,34...2,02 %.

Таблица 4 – Потребительские качества клубней гибридов картофеля /
Table 4 – Consumer qualities of potato hybrid tubers

| Год / Year | Невский, см. / 'Nevsky', st. | 6-17 | 15-17 | 33-17 | 72-17 | 78-17 | 120-17 | 25-16 |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Сухое вещество, % / Dry matter, % | | | | | | | | |
| 2020 | 20,21 | - | - | - | 20,59 | - | - | 22,21 |
| 2021 | 21,53 | 24,68 | 31,21 | 21,49 | 22,39 | 22,34 | 21,07 | 26,75 |
| 2022 | 20,88 | 23,92 | 24,72 | 22,70 | 22,23 | 18,44 | 22,84 | 21,38 |
| Среднее/ Average | 20,87 | 24,30 | 27,97 | 22,09 | 21,74 | 20,39 | 21,96 | 23,45 |
| Крахмал, % / Starch, % | | | | | | | | |
| 2020 | 11,24 | - | - | - | 12,54 | - | - | 14,13 |
| 2021 | 16,26 | 18,76 | 23,77 | 15,22 | 16,85 | 15,34 | 14,00 | 18,52 |
| 2022 | 19,52 | 18,43 | 20,66 | 17,29 | 17,33 | 12,82 | 17,39 | 13,17 |
| Среднее/ Average | 15,67 | 18,59 | 22,22 | 16,23 | 15,57 | 14,08 | 15,69 | 15,27 |
| Аскорбиновая кислота, мг% / Ascorbic acid, mg% | | | | | | | | |
| 2021 | 15,40 | 12,32 | 12,32 | 13,90 | 10,74 | 9,42 | 12,76 | 14,96 |
| 2022 | 17,42 | 12,50 | 12,50 | 13,20 | 10,12 | 11,00 | 16,72 | 16,98 |
| Среднее/ Average | 16,41 | 12,41 | 12,41 | 13,55 | 10,43 | 10,21 | 14,74 | 15,97 |
| Редуцирующие сахара, % / Reducing sugars, % | | | | | | | | |
| 2020 | 0,74 | - | - | - | 0,91 | - | - | 0,74 |
| 2021 | 0,58 | 0,95 | 1,21 | 1,11 | 0,88 | 0,92 | 1,26 | 0,86 |
| 2022 | 0,47 | 0,52 | 0,51 | 0,49 | 0,41 | 0,55 | 0,40 | 0,47 |
| Среднее/ Average | 0,59 | 0,74 | 0,86 | 0,80 | 0,71 | 0,74 | 0,83 | 0,69 |
| Белок, % / Protein, % | | | | | | | | |
| 2022 | 1,84 | 1,86 | 1,75 | 1,41 | 1,31 | 1,34 | 1,81 | 2,02 |

Закключение. Процесс изучения и отбора селекционных номеров картофеля, проведенный в период с 2016 по 2022 год, позволил выделить ряд перспективных. Гибридные комбинации картофеля 6-17, 72-17 и 25-16 отвечают требованиям сельхозтоваропроизводителей и обычных потребителей по морфологическим признакам клубня – окраска кожуры и мякоти,

глубина глазков, форма клубней и выравненность их по размеру; 15-17 и 25-16 – по биохимическим признакам – повышенное содержание сухого вещества и крахмала, пониженное содержание сахаров. Селекционный номер 33-17 рекомендован как среднеранний сорт красного картофеля со стабильной урожайностью, с ровными клубнями и компактным гнездом.

Список литературы

1. Анисимов Б. В. Мировое производство картофеля: тенденции рынка, прогнозы и перспективы (аналитический обзор). Картофель и овощи. 2021;(10):3–8. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008> EDN: OQKWFB
2. Гериева Ф. Т., Ревазова З. И. Результаты испытаний перспективных сортов картофеля в почвенно-климатических условиях предгорной зоны РСО-Алания. Аграрный вестник Урала. 2023;23(10):34–48. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-34-48> EDN: EMIMYM
3. Киселев А. И. Агроэкологическая оценка сортов картофеля нового поколения в условиях Центрального региона России. Картофель и овощи. 2021;(2):29–33. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.77.11.006> EDN: HNUKEC
4. Гериева Ф. Т., Лекова И. А., Бекмурзов Б. В. Оценка и подбор жаро- и засухоустойчивых форм картофеля для почвенно-климатических условий Северного Кавказа. Вестник КрасГАУ. 2022;(9(186)):41–46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49796699> EDN: ZHDPRL

5. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин Ал-р В., Гайзатулин А. С., Салюков С. С., Овечкин С. В., Семенов В. А. Селекция конкурентоспособных сортов картофеля для различного назначения. Картофель и овощи. 2023;(1):35–40. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.49.99.005> EDN: BSDCPK
6. Сердеров В. К., Алилов М. М., Ханбабаев Т. Г. Подбор сортов картофеля для промышленной переработки. Бюллетень науки и практики. 2018;4(4):144–148. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1218295> EDN: XMFWWT
7. Смирнова Т. Б., Темерева И. В., Шепелев В. В. Регулирование содержания белка и крахмала в клубнях картофеля методами сортовой агрохимии. Теоретические знания – в практические дела: сб. ст. XX Международ. научн.-практ. конф. Омск, 2019. С. 65–71. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41229582> EDN: DFVCGD
8. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Гайзатулин А. С. Развитие отечественной селекции и семеноводства картофеля на принципах государственно-частного партнерства. Картофель и овощи. 2021;(12):3–7. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.13.13.001> EDN: IEXLOQ
9. Банадысев С. А., Шанина Е. П. Факторы конкурентоспособности селекции картофеля в России. Картофельная система. 2023;(3):44–53. Режим доступа: <https://potatosystem.ru/factory-konkurentosposobnosti-selekcii-kartofelya-v-rossii/>
10. Сурикова К. Н., Раскатова Е. А. Содержание аскорбиновой кислоты в клубнях картофеля в зависимости от срока хранения. Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сб. мат-лов Второй Всеросс. с междунаро. участием научн.-практ. конф. молодых ученых и студентов. Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2019. С. 246–249. Режим доступа: <https://elibrary.ru/nyrov> EDN: NYROVC
11. Коршунов А. В., Симаков Е. А., Лысенко Ю. Н., Анисимов Б. В., Митюшкина А. В., Гаитов М. Ю. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(3):12–20. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303> EDN: NUZQKP

References

1. Anisimov B. V. World potato production: market trends, forecasts and prospects (analytical review). *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(10):3–8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008>
2. Gerieva F. T., Revazova Z. I. The results of testing promising varieties of potatoes in the foothills republic of North Ossetia – Alania. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(10):34–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-34-48>
3. Kiselev A. I. Agro-ecological assessment of new generation potato varieties in the conditions of the central Russia. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(2):29–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.77.11.006>
4. Gerieva F. T., Lekova I. A., Bekmurzov B. V. Assessment and selection of heat- and drought-resistant potato forms for the Northern Caucasus soil and climatic conditions. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2022;(9(186)):41–46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49796699>
5. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin Al-r V., Gayzatulin A. S., Salyukov S. S., Ovechkin S. V., Semenov V. A. Selection of competitive potato varieties for various purposes. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2023;(1):35–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.49.99.005>
6. Serderov V. K., Alilov M. M., Khanbabaev T. G. Selection of potatoes for industrial processing. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2018;4(4):144–148. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1218295>
7. Smirnova T. B., Temereva I. V., Shepelev V. V. Regulation of protein and starch content in potato tubers by methods of varietal agrochemistry. Theoretical knowledge to the practice: collection of articles of the XX International scientific and practical conf. Omsk, 2019. pp. 65–71. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41229582>
8. Simakov E. A., Anisimov B. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Gayzatulin A. S. Development of domestic potato breeding and seed production on the principles of public-private partnership. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(12):3–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.13.13.001>
9. Banadysev S. A., Shanina E. P. Factors of competitiveness of potato breeding in Russia. *Kartofel'naya sistema*. 2023;(3):44–53. URL: <https://potatosystem.ru/factory-konkurentosposobnosti-selekcii-kartofelya-v-rossii/>
10. Surikova K. N., Raskatova E. A. The content of ascorbic acid in potato tubers depends on the shelf life. Environmental safety in the technosphere field: collection of articles of the 2nd All-Russian scientific and practical conference of young scientists and students with international participation. Ekaterinburg: Rossiyskiy gosudarstvennyy professional'no-pedagogicheskiy universitet, 2019. pp. 246–249. URL: <https://elibrary.ru/nyrov>
11. Korshunov A. V., Simakov E. A., Lysenko Yu. N., Anisimov B. V., Mityushkina A. V., Gaitov M. Yu. Actual problems and priority directions of innovative development of potato breeding. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(3):12–20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10303>

Сведения об авторах

✉ **Башлакова Ольга Николаевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9013-1861>, e-mail: olga.bashlakova@mail.ru

Information about the authors

✉ **Olga N. Bashlakova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9013-1861>, e-mail: olga.bashlakova@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние УФ-А на некоторые морфометрические и биохимические показатели растений-регенерантов картофеля

© 2024. С. В. Щербёнок^{1,2}, Т. Н. Лисина¹✉, С. Л. Елисеев², А. Л. Латыпова¹

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», Пермь, Россия

Ультрафиолетовое облучение (УФО) является составной частью солнечного излучения и играет важную роль в различных биологических процессах растений. Применение УФО может быть мощным инструментом для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур, а также для стимулирования синтеза защитных соединений, повышения питательных качеств и органолептических свойств растений. Оздоровленные меристемные растения картофеля после пересадки в грунт из условий *in vitro* нуждаются в создании оптимального освещения. В условиях защищенного грунта применение дополнительного ультрафиолетового облучения растений картофеля может существенно увеличить урожайность культуры. Для выявления оптимальных условий применения этого приема необходимо изучить реакцию различных сортов картофеля на УФО. В данной работе проведено исследование действия УФ-А (длина волны 360 нм, плотность мощности 2,2 Вт/м, временной интервал между облучением 24 часа) на растения-регенеранты пяти сортов картофеля в течение 10 суток после их пересадки в грунт. Изучено влияние на площадь листьев, массу надземной и корневой частей растений, содержание хлорофиллов, каротиноидов и пролина. Выявлено достоверное увеличение под действием УФ-А надземной массы растений-регенерантов картофеля сортов Люкс и Легенда, массы корневой системы у растений сортов Люкс и Аляска, площади листьев у растений сорта Люкс, содержания пролина в растениях сортов Аляска, Ирбитский, Терра, а также достоверное снижение концентраций фотосинтетических пигментов в листьях растения картофеля сорта Легенда. Полученные результаты расширяют знания о влиянии УФ-А на рост и развитие растений картофеля.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., меристемное растение, сорт, ультрафиолетовое облучение, пролин, фотосинтетические пигменты.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122031100058-3).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щербёнок С. В., Лисина Т. Н., Елисеев С. Л., Латыпова А. Л. Влияние УФ-А на некоторые морфометрические и биохимические показатели растений-регенерантов картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):592–601. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.592-601>

Поступила: 11.04.2024

Принята к публикации: 12.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The influence of UV-A on some morphometric and biochemical parameters of potato regenerate plants

© 2024. Sofiya V. Shcherbyonok^{1,2}, Tatyana N. Lisina¹✉, Sergey L. Eliseev², Anna L. Latypova¹

¹Perm Agricultural Research Institute – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation,

²Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, Perm, Russian Federation

The ultraviolet radiation (UVR) is the part of light spectrum sunlight and plays a very important role in plant biological processes. The use of ultraviolet irradiation can be a powerful tool for controlling pests and diseases of agricultural plants, as well as a tool for stimulating the synthesis of protective compounds, increasing the nutritional qualities and organoleptic properties of plants. Healthy meristem potato plants after transplantation into soil from *in vitro* conditions need optimal lighting conditions. In protected soil conditions, the use of additional ultraviolet irradiation of potato plants can significantly increase crop yield. To identify the optimal conditions for using this technique, it is necessary to study the reaction of different potato varieties to ultraviolet radiation. There has been studied the effect of UV-A (wave length is 360 nm, power density is 2.2 W/m², time period between irradiation is 24 hours) for 10 days after transplanting regenerated plants of five potato varieties into soil. The effects on leaf area, over-ground and root parts, chlorophylls, carotenoid and proline content were investigated. Significant increase in aboveground biomass for ‘Lux’ and ‘Legenda’ varieties, root system mass for ‘Lux’ and ‘Alyaska’ varieties, leaf area for ‘Lux’ variety, proline content in ‘Alyaska’, ‘Irbitskiy’, Terra varieties, and reliable decrease of photosynthetic pigments

concentrations in the leaves of Legenda potato variety were revealed as affected by UVR. The results obtained correct the knowledge about the effect of UV-A on the growth and development of potato plants.

Key words: *Solanum tuberosum* L., meristem plant, variety, ultraviolet radiation, proline, photosynthetic pigments

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences (theme No. 122031100058-3).

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

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

For citation: Shcherbyonok S. V., Lisina T. N., Eliseev S. L., Latypova A. L. The influence of UV-A on some morphometric and biochemical parameters of potato regenerate plants. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):592–601. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.592-601>

Received: 11.04.2024

Accepted for publication: 12.07.2024

Published online: 28.08.2024

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – это пищевая сельскохозяйственная культура, которая является одной из основных во многих странах [1]. Вегетативное размножение картофеля клубнями в открытом грунте сопровождается накоплением болезней, что в дальнейшем приводит к значительному снижению продуктивности культуры. В связи с этим возникает необходимость в периодическом обновлении посадочного материала. Метод размножения *in vitro* позволяет получить растения картофеля, свободные от вирусных, бактериальных и грибных инфекций, которые можно использовать в качестве исходного посадочного материала [2].

При пересадке в закрытый грунт оздоровленные меристемные растения картофеля испытывают стресс, который может привести к задержке роста, а в дальнейшем и к гибели растения. Поэтому важно разработать приемы, обеспечивающие оптимальные условия для развития растений после пересадки [3], а также препятствующие вторичной вирусной инфекции оздоровленных растений.

Для решения данной проблемы защищенный грунт становится все более обоснованным вариантом выращивания меристемного картофеля. Однако растения в защищенном грунте могут недостаточно подвергаться умеренному ультрафиолетовому облучению (УФО) из-за поликарбонатного, стеклянного или пленочного покрытий теплиц, которые частично или полностью задерживают солнечную радиацию в этой области спектра. Это особенно остро ощущается в северных регионах нашей страны из-за недостатка солнечных дней и может привести к понижению качества клубней картофеля.

Ультрафиолетовое облучение является составной частью солнечного излучения и играет важную роль в различных биологических процессах растений. В последнее десятилетие возникла новая сельскохозяйственная парадигма, которая рассматривает УФО как

стратегию повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур [4, 5]. Применение УФО может быть удобным инструментом в борьбе с болезнями растений [6], а также инструментом регуляции синтеза биологически активных веществ [7]. Необходимо контролировать применение УФО, так как возможен ущерб продуктивности растения, а именно фотосинтезу. В опубликованных исследованиях по влиянию УФО на растения ученые сосредотачивают внимание на изменениях биомассы, фотосинтетических и антиоксидантных ферментов [8, 9].

В ультрафиолетовом диапазоне солнечной радиации можно выделить три области спектра: УФ-А (320–400 нм); УФ-В (280–320 нм); УФ-С (100–280 нм). Слои атмосферы полностью поглощают УФ-С, задерживают 90 % УФ-В и практически на 100 % пропускают УФ-А [10].

Влияние УФО на растения исследовали в течение длительного времени [11], однако его влияние на развитие растений картофеля до сих пор остается недостаточно изученным. Кратковременное применение УФ-В в относительно низких дозах может улучшить качество клубней растений картофеля [12]. В работе Т. Н. Янчевской и О. А. Ковалевой [13] установлено, что у растений под действием УФ-В ускоренно развивались первичные корни. При облучении сорта картофеля Одисей дозой 120 Дж/м² средняя длина корней превышала на 96 % контроль. Была установлена также достоверная разница по массе листьев при использовании облучения.

Растения, подвергающиеся чрезмерному воздействию УФ-лучей, особенно УФ-В, страдают от биологических изменений, которые вызывают хлороз и некроз листьев, замедление роста и снижение урожайности растений [14].

УФ-А менее опасен для листовых поверхностей и способен положительно влиять на рост и продуктивность растений. УФ-А может

поглощаться фоторецепторами синего света, такими как фототропины и криптохромы [15]. Реакция растений на УФ-А, опосредованная этими фоторецепторами, до сих пор недостаточно изучена [16]. Таким образом, функция УФ-А в воздействии на рост и развитие растений, в том числе картофеля, до сих пор неясна.

Цель исследований – изучение влияния УФ-А длиной волны 360 нм на морфометрические и биохимические показатели растений картофеля, полученных методом микроклонального размножения, после пересадки их в грунт.



а / а



б/ б

Рис. 1. Устройства для выращивания растений в искусственных условиях: а) фитотрон с меристемными растениями картофеля; б) лазерная установка /

Fig. 1. Devices for controlled cultivation of plants in artificial conditions: а) growbox with meristem potato plants; б) lazer system

Фотопериод 16 часов обеспечивался механическим таймером Systec. В фитотроне установлены светильники ECOLED-BIO-37-RF-D120-F-Trade IP65 (4000K) со следующим спектральным составом: PFD-R – 38,19 %; PFD-B – 16,67 %; PFD-G – 41,45 %; PFD-FR – 3,69 % (рис. 2).

В качестве объектов исследования были взяты пять сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.), рекомендованных для возделывания в Волго-Вятском регионе РФ, к которому относится Пермский край: среднеспелый Аляска,

Научная новизна – получены экспериментальные данные о влиянии УФ-А на морфометрические параметры, содержание фотосинтетических пигментов и пролина у растений-регенерантов пяти сортов картофеля.

Материал и методы. Данная работа была проведена в лаборатории агробиофотоники Пермского научно-исследовательского университета сельского хозяйства – филиала ПФИЦ УрО РАН с использованием фитотрона размерами 100×100×140 см и лабораторной лазерной установки, сконструированных сотрудниками лаборатории (рис. 1) [17].

среднеранний Ирбитский и ранние Люкс, Терра и Легенда.

Микроклональное размножение проводили черенкованием на агаризованной питательной среде Мурасиге-Скуга. Период культивирования микроклонов картофеля в пробирках составил 27 суток. На 28-е сутки растения пересаживали в сосуды объемом 0,33 л и помещали в фитотрон. В качестве субстрата использовали торф (ООО «Велторф», pH 5,5–6,5). Полив проводили ежедневно по 25 мл. В фитотроне поддерживали температуру 20–23 °С. Количество

растений в эксперименте – 80, по 16 растений каждого сорта картофеля.

Регенеранты в течение 10 суток после пересадки в торф подвергали ежедневному воздействию УФ-А в течение 5 секунд в лазерной

установке (длина волны 360 нм, плотность мощности 2,2 Вт/м², временной интервал между облучением 24 часа). Облучение каждого объекта проводили отдельно, помещая сосуд с растением в центр установки.

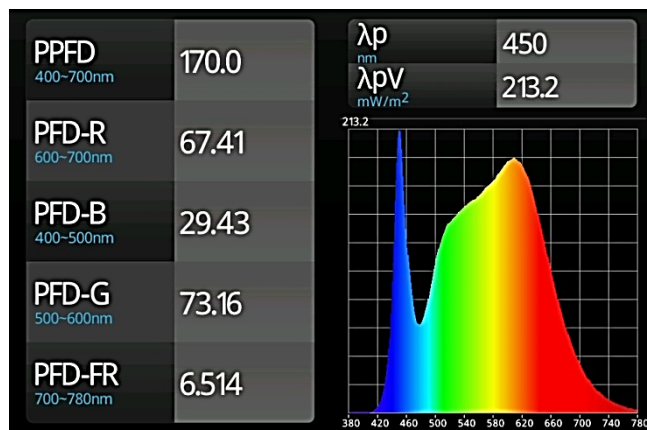


Рис. 2. Спектральный состав освещения в фитотроне, мкмоль/(м²*с): PFD-R – плотность фотосинтетического потока в «красной зоне»; PFD-B – плотность фотосинтетического потока в «синей зоне»; PFD-G – плотность фотосинтетического потока в «зеленой зоне»; PFD-FR – плотность фотосинтетического потока в «дальней красной зоне» /

Fig. 2. Spectral composition of lighting in a grow box, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$: PFD-R – photon flux in the “red zone”; PFD-B – photon flux in the “blue zone”; PFD-G – photon flux in the “green zone”; PFD-FR Photon flux in the “far red zone”

Снятие результатов проводили на 17-е сутки с момента посадки. Площадь листьев определяли по сканированным изображениям растений (сканер Canon CanoScan LiDE) в программе ImageJ, массу надземной и корневой части – на аналитических весах «ГОСМЕТР ВЛ-64». Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом при длинах волн 665, 649 и 440 нм в спиртовой вытяжке [18]. Для расчета концентрации хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов использовали формулы Винтерманса де Мотса¹. Общее содержание пролина определяли методом спектрофотометрии².

Полученные данные статистически обработаны с применением методов описательной статистики, критериев Стьюдента и сдвига/положения для определения достоверности различий между вариантами. На рисунках в качестве погрешностей отражены ошибки средних значений. Значимыми считали различия между сравниваемыми величинами с доверительной вероятностью 95 % и выше ($P \leq 0.05$).

Результаты и их обсуждение. Результаты измерений площади листьев, массы надземной и корневой системы растений картофеля представлены на рисунке 3.

Установлено, что дополнительное облучение растений УФ-А привело к достоверному

увеличению надземной массы у растений картофеля сортов Люкс и Легенда, достоверному увеличению массы корневой системы – Люкс и Аляска. Площадь листьев у всех исследуемых сортов была выше с использованием УФ-А, но статистически достоверные отличия по сравнению с контролем установлены только у сорта Люкс. Увеличение площади листьев способствует лучшему перехвату света и ускорению производства биомассы [19].

Обнаружены различия в содержании хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов в листьях картофеля (рис. 4). У сорта Легенда под действием УФ-А наблюдали достоверное снижение концентрации хлорофиллов и каротиноидов, у сорта Люкс – снижение только хлорофилла *a*. Каротиноиды способны передавать энергию хлорофиллу для фотосинтеза и защищать его от фотоокисления. Уровень каротиноидов у сортов картофеля различается аналогично содержанию хлорофилла [20]. Такие результаты свидетельствуют о сортовых особенностях структуры и функции светособирающего пигментного аппарата. Изменения в содержании фотосинтетических пигментов у различных сортов картофеля при использовании УФ-А объясняются влиянием генетического фактора, который определяется наследственной программой конкретного сорта [21].

¹Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Академия, 2003. 254 с.

²Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы: учебное пособие. Сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. Пермь: Пермский ГНИУ, 2012. 148 с.

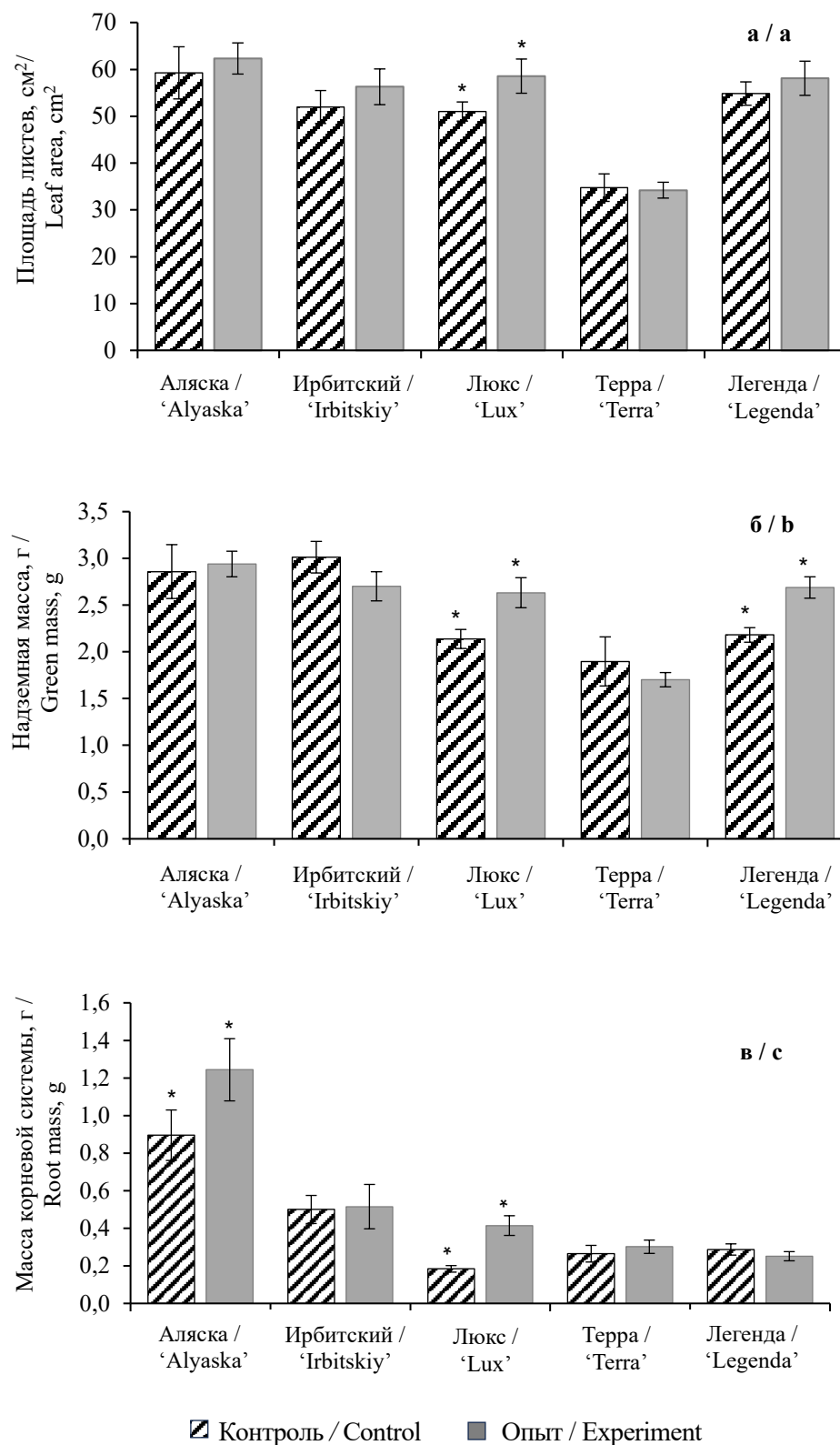


Рис. 3. Морфометрические показатели растений картофеля на 17-й день эксперимента: а) площадь листьев, см²; б) надземная масса, г; в) масса корневой системы, г; * значимые различия между вариантами опыта /

Fig. 3. Morphometric indicators of potato plants on the 17th day of the experiment: a) leaf area, cm²; b) green mass, g; c) root mass, g; * significant differences between variants of the experiment

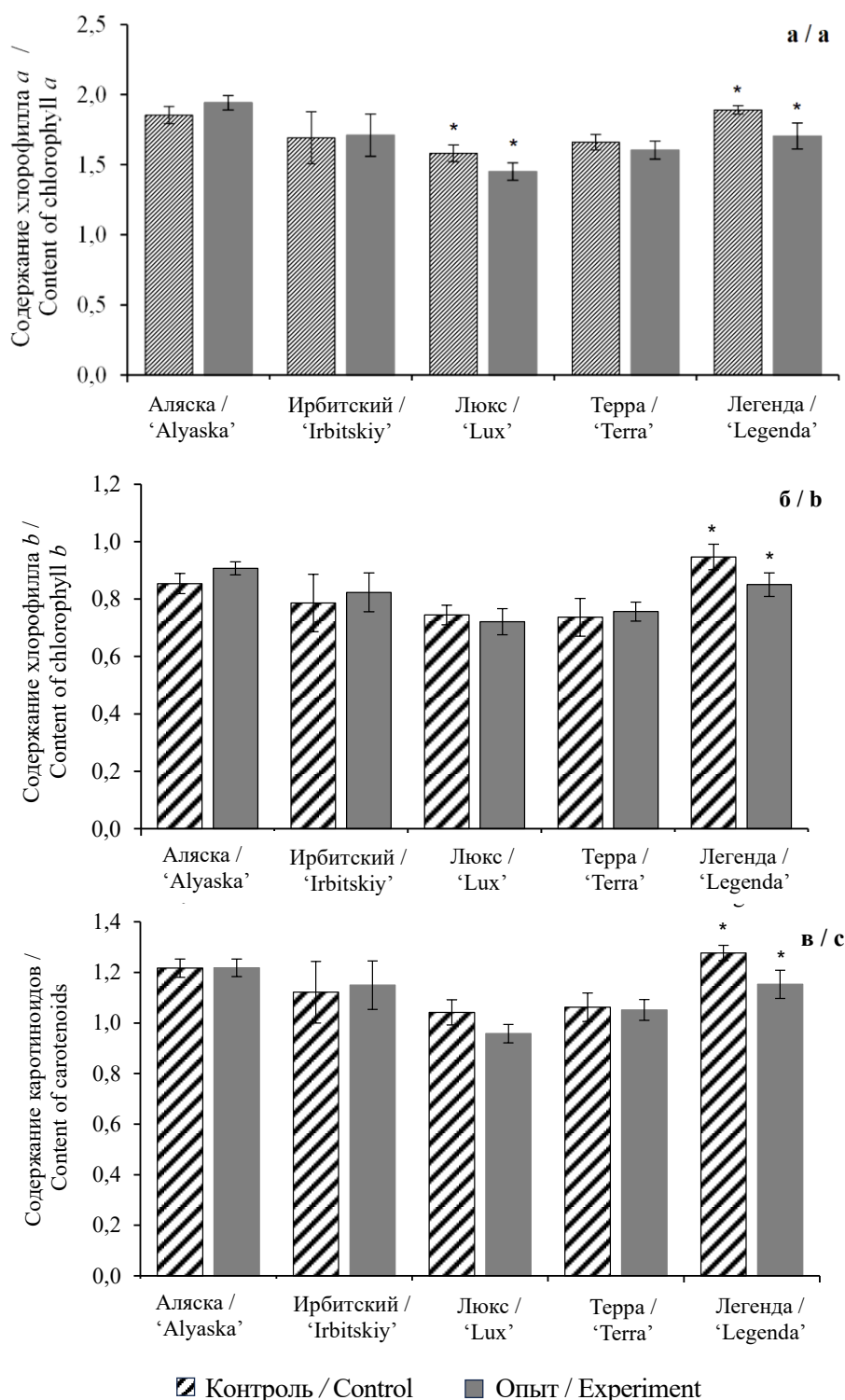


Рис. 4. Содержание пигментов в листьях картофеля, мг/г: а) хлорофилла *a*; б) хлорофилла *b*; в) каротиноидов; * значимые различия между вариантами опыта /

Fig. 4. Pigment content in potato leaves, mg/g: a) chlorophyll *b*; c) carotenoids; *significant differences between variants of the experiment

Установлено достоверное повышение концентрации пролина при УФО в листьях растений сортов картофеля Аляска, Ирбитский и Терра (рис. 5). Пролин – это гетероциклическая аминокислота, которая является совместимым осмолитом в высших растениях.

Количество пролина является маркером устойчивости к стрессу. Свободный пролин при стрессе обладает эффектом, проявляющимся в осморегуляторной, антиоксидантной, энергетической и других функциях [22, 23].

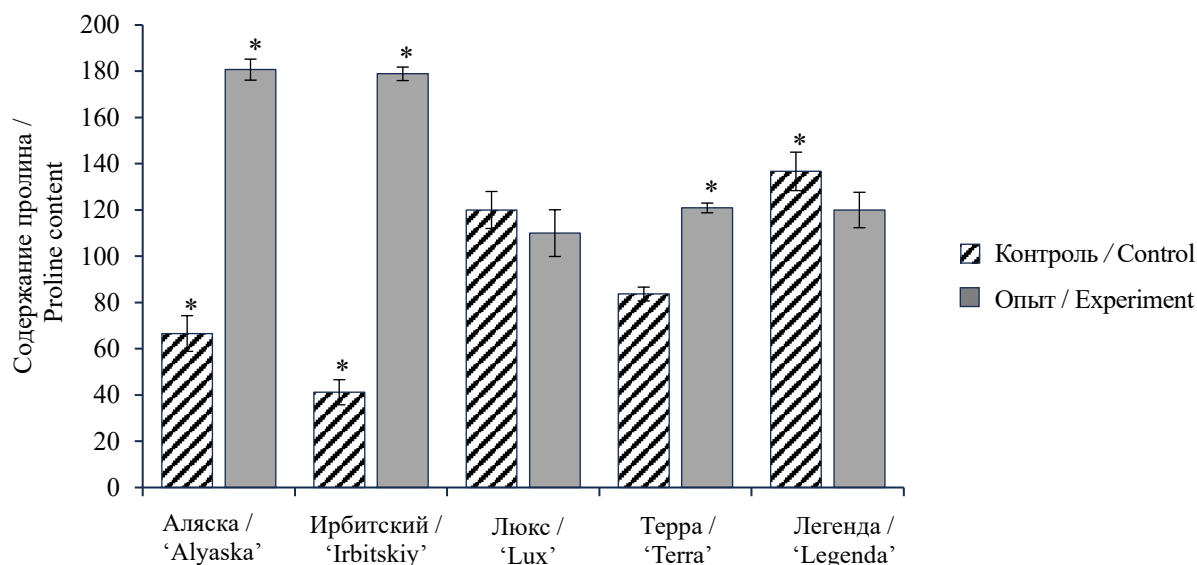


Рис. 5. Содержание пролина в листьях картофеля, мг/100 г сухой массы; * значимые различия между вариантами опыта /

Fig. 5. Proline content in potato leaves, mg/100g dry weight; * significant differences between variants of the experiment

Закключение. Выделяют зоны действия УФО: нейтральная, стимулирующая и угнетающая³ [24]. Границы зон действия зависят от генетических особенностей растения, что подтверждается нашими исследованиями. Растения картофеля сорта Люкс дали статистически значимый ответ почти по всем изученным показателям. Под действием УФ-А у этого сорта увеличилась подземная и надземная масса, площадь листьев. При этом статистически достоверного изменения содержания пролина у сорта Люкс не выявлено. Содержание пролина существенно увеличилось под воздействием УФ-А в растениях сортов Аляска, Ирбитский и Терра, по другим показателям у этих сортов существенного влияния УФ-А не зафиксировано. Сорта Люкс и Легенда, вероятно, устойчивы к данному стресс-фактору (УФ-А), или в их

листьях накапливаются другие антиоксидантные соединения, способствующие защите от повреждений.

В растениях сорта Легенда под действием УФ-А отмечено снижение концентрации фотосинтетических пигментов как хлорофиллов, так и каротиноидов. Учитывая, что у этого сорта при УФ-А отмечено достоверное увеличение надземной массы, вероятно, это явление можно объяснить эффектом «разбавления». Аналогичную закономерность наблюдали и у сорта Люкс: увеличение массы и снижение концентрации хлорофилла *a*.

Наши исследования показали, что изученные сорта картофеля имеют отличия в реакции на УФ-А. Полученные результаты могут быть полезны для создания руководств по использованию УФ-А в картофелеводстве.

Список литературы

1. Саяпова М. Г., Карпухин М. Ю., Кейта Ф. Семеноводство картофеля. Молодежь и наука. 2018;(7):54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36489025> EDN: MNKHKD
2. Лисина Т. Н., Дубасова Ю. А., Протасова Е. М., Елисеева А. Д., Щербёнок С. В. Опыт выращивания мини-клубней трёх сортов картофеля в условиях защищённого грунта. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024;(1(105)):44–49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60786122> EDN: LRBMCO
3. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahiou B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown *in vitro*. Journal of Plant Nutrition. 2021;44(14):2123–2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
4. Mariz-Ponte N., Mendes R. J., Sario S., Melo P., Santos C. Moderate UV-A supplementation benefits tomato seed and seedling invigoration: A contribution to the use of UV in seed technology. Scientia Horticulturae. 2018;235:357–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.025>

³Сидоренко И. Д. Влияние предпосевного облучения семян на рост, развитие и физиолого-биохимические процессы кукурузы: автореф. дис.... канд. с.-х. наук. Киев, 1964. 24 с.

5. Mariz-Ponte N., Martins S., Gonçalves A., Correia C. M., Ribeiro C., Dias M. C., Santos C. The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. *Scientia Horticulturae*. 2019;246:777–784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.058>
6. González-García Y., Escobar-Hernández D. I., Benavides-Mendoza A., Morales-Díaz A. B., Olivares-Sáenz E., Juárez-Maldonado A. UV-A Radiation Stimulates Tolerance against *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici in Tomato Plants. *Horticulturae*. 2023;9(4):499. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040499>
7. Escobar-Bravo R., Chen G., Kim H. K., Grosser K., van Dam N. M., Leiss K. A., Klinkhamer P. G. Ultra-violet radiation exposure time and intensity modulate tomato resistance to herbivory through activation of jasmonic acid signaling. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(1):315–327. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery347>
8. Santos I., Fidalgo F., Almeida J. M., Salema R. Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Science*. 2004;167(4):925–935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.035>
9. Vyšniauskienė R., Rančelienė V. Effect of UV-B radiation on growth and antioxidative enzymes activity in Lithuanian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Zemdirbyste-agriculture*. 2014;101(1):51–56. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.007>
10. Гинс М. С., Гамбарова Н. Г. Активность антиоксидантной системы краснокрашенного амаранта при кратковременном действии УФ-А радиации. Овощи России. 2009;(1):33–35. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2009-1-33-35> EDN: OYCLGH
11. Лисина Т. Н., Бурдышева О. В., Шолгин Е. С. Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):913–923. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-92> EDN: XSVSWJ
12. Qi W., Ma J., Zhang J., Gui M., Li J., Zhang L. Effects of low doses of UV-B radiation supplementation on tuber quality in purple potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Signaling & Behavior*. 2020;15(9). DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1783490>
13. Янчевская Т. Г., Ковалёва О. А. Стимулирование морфообразовательных процессов в меристемных растениях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) под действием ультрафиолетового облучения В-диапазона. Физиология растений и генетика. 2015;47(4):287–295.
14. Lee J., Oh M., Son K. Short-Term Ultraviolet (UV)-A Light-Emitting Diode (LED) Radiation Improves Biomass and Bioactive Compounds of Kale. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1042. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01042>
15. Casal J. J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Reviews of Plant Biology*. 2013;64:403–427. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>
16. Verdager D., Jansen M. A., Llorens L., Morales L. O., Neugart S. UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Science*. 2017;255:72–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014>
17. Бурдышева О. В., Шолгин Е. С., Илюшин С. А., Ременникова М. В., Щербинина К. Э., Лисина Т. Н. Разработка макета оптической установки комплексного действия обработки семян сельскохозяйственных культур. Фотон-экспресс. 2023;(6(190)):31–32. DOI: <https://doi.org/10.24412/2308-6920-2023-6-31-32> EDN: QEVMQV
18. Лобков В. Т., Наполова Г. В. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи: пат. № 2244916 Российская Федерация. №2003120313/04: заяв. 02.07.2003; опубл. 20.01.2005. Бюл. №2. 4 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
19. Kang S., Zhang Y. T., Zhang Y. Q., Zou J., Yang Q. C., Li T. Ultraviolet-A radiation stimulates growth of indoor cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) Seedlings. *HortScience*. 2018;53(10):1429–1433. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13347-18>
20. Polívka T., Frank H. A. Molecular factors controlling photosynthetic light harvesting by carotenoids. *Accounts of Chemical Research*. 2010;43(8):1125–1134. DOI: <https://doi.org/10.1021/ar100030m>
21. Мякишева Е. П., Соколова Г. Г. Влияние качества света на содержание фотосинтетических пигментов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro*. Известия Алтайского государственного университета. 2014;(3-2):46–49. DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-08](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-08) EDN: TACEYF
22. Hossain M. A., Hoque M. A., Burritt D. J., Fujita M. Chapter 16 – Proline protects plants against abiotic oxidative stress: biochemical and molecular mechanisms. *Oxidative Damage to Plants. Antioxidant Networks and Signaling*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. pp. 477–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00016-2>
23. Bhuyan M. H. M. B., Hasanuzzaman M., Al Mahmud J., Hossain Md. Sh., Bhuiyan T. F., Fujita M. Unraveling Morphophysiological and Biochemical Responses of *Triticum aestivum* L. to Extreme pH: Coordinated Actions of Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Plants*. 2019;8(1):24. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8010024>
24. Ковалёва О. А. Влияние УФ-облучения на биосинтез пигментов и фотодинамические характеристики переменной флуоресценции листьев меристемных регенерантов картофеля (*Solanum tuberosum*). Вестник Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2006;(5):85–88. Режим доступа: <http://elib.bspu.by/handle/doc/1801>

References

1. Sayapova M. G., Karpukhin M. Yu., Keyta F. The seed potatoes. *Molodezh' i nauka* = Youth and science. 2018;(7):54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36489025>
2. Lisina T. N., Dubasova Yu. A., Protasova E. M., Eliseeva A. D., Shcherbenok S. V. Experience in growing minitubers of three potato varieties in protected soil conditions. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2024;(1(105)):44–49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60786122>
3. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahiou B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown *in vitro*. *Journal of Plant Nutrition*. 2021;44(14):2123–2137. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>
4. Mariz-Ponte N., Mendes R. J., Sario S., Melo P., Santos C. Moderate UV-A supplementation benefits tomato seed and seedling invigoration: A contribution to the use of UV in seed technology. *Scientia Horticulturae*. 2018;235:357–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.025>
5. Mariz-Ponte N., Martins S., Gonçalves A., Correia C. M., Ribeiro C., Dias M. C., Santos C. The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. *Scientia Horticulturae*. 2019;246:777–784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.058>
6. González-García Y., Escobar-Hernández D. I., Benavides-Mendoza A., Morales-Díaz A. B., Olivares-Sáenz E., Juárez-Maldonado A. UV-A Radiation Stimulates Tolerance against *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici in Tomato Plants. *Horticulturae*. 2023;9(4):499. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040499>
7. Escobar-Bravo R., Chen G., Kim H. K., Grosser K., van Dam N. M., Leiss K. A., Klinkhamer P. G. Ultra-violet radiation exposure time and intensity modulate tomato resistance to herbivory through activation of jasmonic acid signaling. *Journal of Experimental Botany*. 2019;70(1):315–327. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery347>
8. Santos I., Fidalgo F., Almeida J. M., Salema R. Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Science*. 2004;167(4):925–935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.035>
9. Vyšniauskienė R., Rančelienė V. Effect of UV-B radiation on growth and antioxidative enzymes activity in Lithuanian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Zemdirbyste-agriculture*. 2014;101(1):51–56. DOI: <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.007>
10. Gins M. S., Gambarova N. G. The activity of antioxidant system of red-colored plants of Amaranth during of short-term exposure in ultraviolet rays. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2009;(1):33–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2009-1-33-35>
11. Lisina T. N., Burdysheva O. V., Sholgin E. S. Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):913–923. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-92>
12. Qi W., Ma J., Zhang J., Gui M., Li J., Zhang L. Effects of low doses of UV-B radiation supplementation on tuber quality in purple potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Signaling & Behavior*. 2020;15(9). DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1783490>
13. Yanchevskaya T. G., Kovaleva O. A. Stimulation of morphological processes in meristemic potato plants (*Solanum tuberosum* L.) under the action of ultraviolet irradiation in the B-band. *Fiziologiya rasteniy i genetika*. 2015;47(4):287–295. (In Ukraine).
14. Lee J., Oh M., Son K. Short-Term Ultraviolet (UV)-A Light-Emitting Diode (LED) Radiation Improves Biomass and Bioactive Compounds of Kale. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1042. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01042>
15. Casal J. J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Reviews of Plant Biology*. 2013;64:403–427. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>
16. Verdager D., Jansen M. A., Llorens L., Morales L. O., Neugart S. UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Science*. 2017;255:72–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014>
17. Burdysheva O. V., Sholgin E. S., Ilyushin S. A., Remennikova M. V., Shcherbinina K. E., Lisina T. N. Development of a layout for an optical installation of an integrated action for processing agricultural seeds. *Foton-ekspress*. 2023;(6(190)):31–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2308-6920-2023-6-31-32>
18. Lobkov V. T., Napolova G. V. A method for determining chlorophyll in buckwheat plants: Patent RF no. 2244916, 2005. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
19. Kang S., Zhang Y. T., Zhang Y. Q., Zou J., Yang Q. C., Li T. Ultraviolet-A radiation stimulates growth of indoor cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) Seedlings. *HortScience*. 2018;53(10):1429–1433. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13347-18>
20. Polívka T., Frank H. A. Molecular factors controlling photosynthetic light harvesting by carotenoids. *Accounts of Chemical Research*. 2010;43(8):1125–1134. DOI: <https://doi.org/10.1021/ar100030m>
21. Myakisheva E. P., Sokolova G. G. The effect of light quality on the content of photosynthetic pigments in potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* = Izvestiya of Altai State University. 2014;(3-2):46–49. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-08](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-08)

22. Hossain M. A., Hoque M. A., Burritt D. J., Fujita M. Chapter 16 – Proline protects plants against abiotic oxidative stress: biochemical and molecular mechanisms. *Oxidative Damage to Plants. Antioxidant Networks and Signaling*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. pp. 477–522.

DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00016-2>

23. Bhuyan M. H. M. B., Hasanuzzaman M., Al Mahmud J., Hossain Md. Sh., Bhuiyan T. F., Fujita M. Unravelling Morphophysiological and Biochemical Responses of *Triticum aestivum* L. to Extreme pH: Coordinated Actions of Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems. *Plants*. 2019;8(1):24. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8010024>

24. Kovaleva O. A. The effect of RF irradiation on pigment biosynthesis and photodynamic characteristics of variable fluorescence of the leaves of meristemic potato regenerants (*Solanum tuberosum*). *Vestnik Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk*. 2006;(5):85–88. (In Belarus).

URL: <http://elib.bspu.by/handle/doc/1801>

Сведения об авторах

Щербёнок София Вячеславовна, младший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 641532, e-mail: pniish@rambler.ru; аспирант, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. 25 Октября, д. 10, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

✉ **Лисина Татьяна Николаевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Россия, 641532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: atea2@yandex.ru

Елисеев Сергей Леонидович, доктор с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. 25 Октября, д. 10, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-7407>

Латыпова Анна Леонидовна, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский край, Россия, 641532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9625-7465>

Information about the authors

Sofiya V. Shcherbyonok, junior researcher, Perm Agricultural Research Institute – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru; postgraduate, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, October 25th st., 10, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

✉ **Tatyana N. Lisina**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory, Perm Agricultural Research Institute – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: atea2@yandex.ru

Sergey L. Eliseev, DSc in Agricultural Science, professor at the Department of Plant Growing, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, October 25th st., 10, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-7407>

Anna L. Latypova, researcher, Perm Agricultural Research Institute – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9625-7465>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние генетического сходства, активности пероксидазы и содержания аскорбиновой кислоты в компонентах прививок тыквенных культур на их приживаемость

© 2024. С. А. Мусихин✉, Д. А. Зорин, А. В. Худякова

ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Прививка овощных культур широко применяется в промышленном овощеводстве стран Азии и Западной Европы. Однако малоизучено влияние на приживаемость прививки генетического родства привоя и подвоя, активности пероксидазы и содержания аскорбиновой кислоты в компонентах прививки в период срастания. Объекты исследований – девять видов семейства Тыквенные (Cucurbitaceae). Изучен полиморфизм 11 таксонов на основе ISSR-ПЦР геномной ДНК. Учет приживаемости привойно-подвойных комбинаций проводили на 10-е сутки. Активность пероксидазы определена спектрофотометрическим методом, содержание аскорбиновой кислоты – по Мурри. Достоверные различия в приживаемости отмечены при прививке момордики в вариантах подвоев тыква: крупноплодная (94,6 %) и мускатная (67,1 %). В опытах с арбузом, дыней и трихозантом влияния вида подвоя на жизнеспособность прививки не выявлено. По ISSR-спектрам таксоны разделились на два кластера, межвидовые группировки каждой клады поддерживались средними значениями бутстреп (от 26 до 100 %). Выявлено среднее влияние ($r = 0,36$) степени генетического сходства привоя с подвоем на приживаемость арбуза и слабое на приживаемость дыни, момордики и трихозанта. Активность пероксидазы и содержание аскорбиновой кислоты в компонентах прививки в разных привойно-подвойных комбинациях оказывала соответственно слабое и среднее влияние на приживаемость растений. В сильной степени от содержания аскорбиновой кислоты ($r = 0,7$) зависела приживаемость трихозанта на различных видах подвоев. Генетическое родство, активность пероксидазы и содержание аскорбиновой кислоты оказывали слабое или среднее влияние на приживаемость растений в привойно-подвойных комбинациях.

Ключевые слова: ISSR-маркеры, праймеры, момордика, трихозант, дыня, арбуз

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0427-2019-0033).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мусихин С. А., Зорин Д. А., Худякова А. В. Влияние генетического сходства, активности пероксидазы и содержания аскорбиновой кислоты в компонентах прививок тыквенных культур на их приживаемость. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):602–615. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.602-615>

Поступила: 05.03.2024

Принята к публикации: 18.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The influence of genetic similarity, peroxidase activity and ascorbic acid content in the components of pumpkin crop grafts on their survival rate

© 2024. Sergey A. Musikhin✉, Denis A. Zorin, Anna V. Khudyakova

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

Grafting of vegetable crops is widely used in industrial vegetable growing in Asia and Western Europe. However, the influence of the genetic relationship of the scion and rootstock, the activity of peroxidase and the content of ascorbic acid in the components of the graft during inosculation period on graft survival has been poorly studied. The objects of the research are nine species of the pumpkin family (Cucurbitaceae). The polymorphism of 11 taxa was studied based on ISSR-PCR of genomic DNA. The record of survival rate of scion-rootstock combinations was conducted on the 10-th day. The activity of peroxidase was determined by the spectrophotometric method, the content of ascorbic acid was determined by Murri. Significant differences in survival rate were noted when grafting momordica into pumpkin rootstock variants: large-fruited (94.6 %) and nutmeg (67.1 %). In experiments with watermelon, melon and trichosanthes, the influence of the type of rootstock on the viability of the graft was not revealed. According to the ISSR spectra, the taxa were divided into two clusters; interspecific groupings of each clade were supported by average bootstrap values (from 26 to 100 %). A medium effect ($r = 0.36$) of the degree of genetic similarity of the scion with the rootstock on the survival rate of watermelon and a weak effect on the survival rate of melon, momordica and trichosanthes were revealed. The activity of peroxidase and the content of ascorbic acid in the grafting components in different scion-rootstock combinations had a weak and moderate effect on plant survival, respectively. The survival rate of trichosanthes on various types of rootstocks strongly depended on the content of ascorbic acid ($r = 0.7$). Genetic relatedness, peroxidase activity, and ascorbic acid content had a weak or moderate effect on the survival rate of plants in scion-rootstock combinations.

Keywords: ISSR markers, primers, Momordica, Trichosanthes, melon, watermelon

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 0427-2019-0033).

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

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

For citations: Musikhin S. A., Zorin D. A., Khudyakova A. V. The influence of genetic similarity, peroxidase activity and ascorbic acid content in the components of pumpkin crop grafts on their survival rate. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):602–615. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.602-615>

Received: 05.03.2024

Accepted for publication: 18.07.2024

Published online: 28.08.2024

Прививка – один из приемов, повышающих устойчивость растений к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам в плодородии, овощеводстве и декоративном садоводстве. Использование прививки на устойчивые подвои позволяет повышать экологизацию производства овощей за счет снижения пестицидной нагрузки. Данный способ размножения растений применяется на пасленовых и тыквенных культурах в промышленных масштабах и на любительском уровне. Проведение исследований по приживаемости прививок на растениях из семейства Тыквенные в СССР были начаты на дыне *Cucumis melo* L. В работах С. П. Лебедевой [1, 2, 3] отмечено, что от правильного выбора подвоя зависит, насколько успешно будет развиваться привой. Положительные результаты получены при выращивании среднеазиатских дынь с прививкой на крупноплодную и мускатную тыкву в условиях Средней полосы, меньший эффект выявлен на тыкве твердокорой.

В Западной части Балканского полуострова установили преимущество прививок дыни на тыкву твердокорую и мускатную [4]. Позднее, в условиях Южной Европы, лучшие результаты получили при прививке дыни на тыкву мускатную [5]. В опытах по прививке огурца было замечено, что растения, привитые на тыкву, ускоряли свое развитие, повышали урожайность и устойчивость к неблагоприятным факторам [1, 6]. При этом А. П. Модестов считал, что определяющим для подвоя является мощность корневой системы [7]. В результате испытания различных видов тыквенных культур в Западной части Балканского полуострова в 1940–1950-х годах XX века в качестве подвоев для арбуза *Citrullus lanatus* (Thunb.) Мацум. & Накаи рекомендовалась лагенария. По данным ряда авторов, в зависимости от вида негативного фактора арбуз рекомендуется прививать на такие подвои, как тыква фиголистная *Cucurbita ficifolia* Bouche, бенинказа *Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn. [8, 9, 10].

Большая работа по изучению прививок на тыквенных культурах – арбуза, дыни и огурца

в настоящее время в Российской Федерации проводится А. В. Федоровым с соавторами [11, 12]. Были получены положительные результаты, имеющие теоретическое и практическое значение: впервые научно обосновано использование тыквы фиголистной в качестве подвоя при выращивании огурца, лагенарии – при выращивании арбуза в защищенном грунте; установлено влияние сортовых особенностей привоя на эффективность применения метода прививки при выращивании дыни. Описано распространение и изучена физиологическая активность корневых систем огурца, арбуза, дыни, а также подвоев этих культур при выращивании на грунтах в зимних и весенних теплицах. Выявлены и предложены производству лучшие подвои для огурца, арбуза и дыни, физиологически активные вещества при выращивании привитых растений огурца и арбуза.

Имеются исследования по применению метода прививки и подбору подвоев для момордики и трихозанта [13, 14]. Выбор оптимального подвоя обусловлен множеством факторов. На пасленовых культурах было выявлено, что явление несовместимости в привойно-подвойных комбинациях главным образом зависит от биохимических различий видов и сортов растений, а также от анатомо-морфологических и иммунологических особенностей строения тканей компонентов, от скорости роста стеблей привоя и подвоя в толщину [15]. В опытах с огурцом и арбузом значительную роль в приживаемости играли анатомо-морфологические особенности сортов привоя и видов подвоя. В то же время в экспериментах с дыней, несмотря на отсутствие сортоспецифической реакции привоя на приживаемость, он в дальнейшем оказывал влияние на морфобиологические особенности растений, развитие и физиологическую активность корневой системы подвоя [11].

Общеизвестно, что, несмотря на значительное влияние анатомо-морфологических и физиологических особенностей на приживаемость компонентов прививки, главную роль в успешности прививок играет их ботаническое

родство [16]. Исследования генетического полиморфизма и определение генетического сходства широко представлено в коллекциях культурных растений с целью паспортизации и дальнейшего использования в селекции [17, 18, 19]. Однако слабо изучены вопросы влияния полиморфизма и генетического сходства различных таксонов при использовании метода прививки.

Одним из наиболее эффективных инструментов оценки генетического полиморфизма являются микросателлиты, которые относятся к высокополиморфным маркерам растительных геномов [20]. Межмикросателлитные последовательности окружают многие гены и могут использоваться как якорные последовательности при подборе праймеров к ним, что составляет основу метода ISSR-типирования (Inter Simple Sequence Repeat), который начал развиваться в 1994 г. [20], а к настоящему времени получил широкое распространение, особенно в исследованиях генофондов различных видов растений. В работах [21, 22, 23] рассмотрены следующие особенности этого метода.

Основные свойства ISSR-метода:

1. Используется один или несколько праймеров длиной 15–24 нуклеотида.
2. Праймеры состоят из tandemных коротких 2–4 нуклеотидных повторов и одного селективного нуклеотида на 3'-конце праймера (например, 5'-CA CA CA CA CA CA CA CA G).
3. Продукты ISSR-амплификации содержат на флангах инвертированную микросателлитную последовательность праймера.
4. Относительно высокая точность и улучшенная воспроизводимость результатов по сравнению с RAPD в связи с большей длиной праймера и более высокой температурой отжига.
5. Локализация в геноме неизвестна.
6. Маркеры данного типа используются для выявления генетической идентичности, родословной, дифференциации клонов, микроклонов и линий, таксономии близкородственных видов.

Преимущества ISSR-анализа:

1. Для создания маркеров не требуется знание нуклеотидной последовательности.
2. Не требует предварительного клонирования фрагментов для подбора праймеров.
3. Полилокусность – наличие большого количества продуктов амплификации.
4. Выявляемый полиморфизм с помощью ISSR, как правило, выше и более четко воспроизводим, чем в RAPD.

5. Метод удобен для генетического анализа, т. к. в геномах растений количество микросателлитных повторов очень велико.

6. Предполагается их относительно равномерное распределение по длине генома.

7. Дает четко воспроизводимые и стабильные результаты;

8. Дешевизна и простота.

Недостатки ISSR-анализа:

1. Необходимо подбирать последовательность ISSR-праймеров более строго и использовать в анализе только "яркие" продукты ISSR-амплификации.

2. Доминантный тип наследования, что не позволяет различать гомо- и гетерозиготы.

3. Эффект реамплификации – повторная амплификация, ведущая к увеличению количества ампликонов, вследствие изменения условий реакции, например, температуры отжига.

Цель исследования – оценка влияния генетического сходства видов тыквенных, используемых в качестве подвоя и привоя, а также активности пероксидазы и содержания аскорбиновой кислоты в тканях растений на их приживаемость.

Научная новизна – состоит в кластерном анализе генетического сходства на основе полиморфизма межмикросателлитных маркеров ISSR (Inter Simple Sequence Repeats – межмикросателлитный полиморфизм) тыквенных культур (Cucurbitaceae Juss.).

Материал и методы. Работа выполнена в лаборатории диагностики и контроля качества картофеля Удмурского НИИСХ. Для анализа полиморфизма растений, относящихся к разным таксономическим группам, были отобраны ISSR-маркеры, обладающие высокой полиморфностью по результатам предшествующих исследований [24, 25]. Объектами изучения служили девять видов семейства Тыквенные: тыква твердокорая (*Cucurbita pepo* L.); тыква крупноплодная (*Cucurbita maxima* Duch.); арбуз шерстистый (*Citrulus lanatus* L.); трихозант змеевидный (*Trichosanthes cucurbitina* L.); тыква фиголистная (*Cucurbita ficifolia* Bouche.); бенинказа (*Benincasa hispida* (Tunb.) Cogn.; дыня (*Cucumis melo* L.); лагенария (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.); момордика харанция (*Momordica charantia* L.).

Проращивание семян осуществляли в небольших парниках при 16-часовом световом периоде. ДНК выделяли из листьев, массой 100 мг, 14-дневных проростков СТАВ-методом по мето-

дике С. Роджерса и А. Бендиха (S. O. Rogers, A. J. Bendich) [26] с модификациями Кота-Санчеса и соавт. (Cota-Sánchez et al.) [27]. Для нивелирования внутривидового полиморфизма каждый образец представлял собой смесь ДНК трех индивидуальных генотипов. Молекулярно-генетический анализ осуществляли с использованием 11 ISSR-праймеров (ООО «ЕврогенЛаб», Россия).

Амплификацию проводили с помощью термоциклера «Терцик» (Россия) в объеме 25 мкл. Для приготовления ПЦР-образцов использовали смесь Screen Mix-HS (5x) (ООО «ЕврогенЛаб», Россия). В каждую пробирку добавляли каплю минерального масла. ПЦР на амплификаторе «Терцик». Условия проведения реакции: предварительная денатурация при температуре 94 °C, 120 сек.; первые пять циклов – 94 °C, 20 сек.; температура отжига, 10 сек.; цикл элонгации при температуре 72 °C, 10 сек.; в следующих 35 циклах – 94 °C, 5 сек.; температура отжига, 5 сек.; цикл элонгации при температуре 72 °C, 5 сек. Последний цикл элонгации длится 2 минуты при температуре 72 °C. Продукты амплификации разделяли электрофорезом в 1,7%-ом агарозном геле, окрашенном бромистым этидием (0,5 мкг/мл). Для определения размера амплифицированных фрагментов использовали маркер молекулярных масс (100 + bpDNALadder) (ООО «ЕврогенЛаб», Россия) [28].

Для анализа полиморфизма арбуза, дыни, момордики и трихозанта различных подвоев использовали следующие статистические параметры – величина информационного полиморфизма (PIC), которую вычисляли отдельно для каждого праймера:

$$PIC = 1 - 1/L \sum p_i^2, \quad (1)$$

где L – общее количество аллелей,

p_i – частота i -го аллеля;

разрешающая способность (Rp):

$$Rp = \sum Ib_i, \quad (2)$$

где $Ib_i = 1 - [2 \times |0,5 - p_i|]$ – информативность ампликона, p_i – доля особей, у которых выявлен i -й аллель [29, 30].

Для количественной оценки степени полиморфизма и определения уровня различий между изучаемыми объектами полученные данные были представлены в виде бинарной матрицы. На основании созданной матрицы

по ISSR-спектрам в компьютерной программе Treescon v. 1.3 [31] с помощью иерархической кластеризации невзвешенным парно-групповым методом (UPGMA) строили дендрограмму, отражающую степень родства изучаемых видов.

Учёты приживаемости привоев на виды подвоев проводили с прививкой арбуза и дыни (2010–2014 гг.), с прививкой момордики и трихозанта (2017–2020 гг.). Количество растений – 60 штук по каждому варианту прививок. Варианты подвоев: 1 – тыква твердокорая; 2 – тыква крупноплодная; 3 – тыква мускатная; 4 – тыква фиголистная; 5 – бенинказа; 6 – лагенария. В исследованиях прививки момордики и трихозанта подвой бенинказа был исключен из опытов в виду слишком большого несоответствия диаметров гипокотыля подвоя и привоев. У бенинказы по сравнению с момордикой и трихозантом диаметр гипокотыля в период появления всходов, когда проводится прививка, значительно меньше, что сильно затрудняет проведение прививки.

Прививку проводили на 3–5-е сутки после всходов (полное раскрытие семядолей) способом сближения с язычком. На 7-е сутки после прививки надземную часть подвоя удаляли. Приживаемость привойно-подвойных комбинаций учитывали спустя 10 суток после прививки.

Для определения активности пероксидазы в период срастания на 2, 4, 6, 8-е сутки после прививки в рассадный период были проведены анализы спектрофотометрическим методом¹ в надземной части привоя и у подвоя до момента его удаления. Метод основан на измерении оптической плотности продуктов реакции, образовавшихся при окислении гваякола за определённый промежуток времени.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли титриметрическим методом (по Мурри)² в момент срастания (2, 4, 6, 8-е сутки после проведения прививки) в рассадный период.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием стандартных пакетов компьютерных программ Microsoft Office XP Excel и STATISTICA 6.0. Рассчитывали среднеарифметическое значение и его ошибку. Оценку достоверности различий при сравнении выборок осуществляли с помощью t -критерия Стьюдента.

¹Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум. Калинингр. ун-т. Авт.-сост. Г. Н. Чупахина. Калининград, 2000. 59 с. URL: <https://studfile.net/preview/414659/>

²Методы биохимического исследования растений. Под ред. А. И. Ермакова. 3 изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение. 1987. С. 429. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007371300>

Результаты и их обсуждение. В экспериментах по изучению полиморфизма ДНК *Cucurbita pepo* L., *Cucurbita maxima* Duch., *Citrulus lanatus* L., *Trichosanthes cucumerina* L., *Cucurbita ficifolia* Bouche., *Benincasa hispida* (Tunb.) Cogn., *Cucumis melo* L., *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl., *Momordica charantia* L.

было апробировано 11 ISSR-праймеров. Для всех видов определены собственные ISSR-спектры, различающиеся числом ампликонов, их размерами и степенью выраженности на электрофореграммах [32, 33]. На основании полученных спектров представлена краткая характеристика используемых праймеров (табл. 1).

Таблица 1 – Информативность ISSR-праймеров /
Table 1 – Informativeness of ISSR primers

| Обозначение праймера / Primer designation | Нуклеотидная последовательность (5'→3') / Nucleotide sequence (5'→3') | Размеры фрагментов ДНК, пн / Sizes of DNA fragments, bp | Среднее число ISSR-маркеров / Average number of ISSR markers | Среднее число ISSR-маркеров на образец / Average number of ISSR markers per sample |
|---|---|---|--|--|
| I-1 | (CA) ₈ T | 180-3000 | 9 | 3,0 |
| I-4 | (AC) ₈ G | 180-2500 | 17 | 5,5 |
| I-11 | (GTG) ₅ AG | 200-3000 | 11 | 2,6 |
| I-15 | (CT) ₈ AC | 500-2500 | 4 | 1,2 |
| P1 | GAG(CAA) ₅ | 110-900 | 18 | 3,5 |
| P2 | CTG(AG) ₈ | 180-900 | 17 | 5,1 |
| UBC808 | (AG) ₈ C | 140-3000 | 20 | 6,7 |
| UBC818 | (CA) ₈ G | 190-900 | 16 | 3,2 |
| UBC840 | (GA) ₈ CTT | 210-920 | 19 | 4,1 |
| UBC849 | (GT) ₈ CG | 180-1200 | 14 | 3,0 |
| UBC867 | (GGC) ₆ | 210-1000 | 9 | 2,9 |

Среди 11 рассмотренных ISSR-праймеров только праймеры I-15 и UBC867 не дали четких воспроизводимых полос. Остальные праймеры как ди-, так и тринуклеотидные были достаточно информативными, они инициировали в среднем от 2,6 (I-11) до 6,7 (UBC808) ДНК-бэндов на образец.

Из общего числа фрагментов выявлено от 4 до 20 четко воспроизводимых в повторностях ISSR-фрагментов. Для этих праймеров определен 100%-й уровень полиморфизма.

При использовании в ПЦР праймеров I-15 и UBC867 получили слабые немногочисленные ДНК-бэнды, что указывает на дефицит особых классов ДНК-фрагментов в геноме изученных видов.

Праймеры I-1 и I-11 обладали сходными характеристиками. По-видимому, с их использованием амплифицируются фрагменты ДНК, определяющие родовую принадлежность. Тыквы крупноплодная, твердокорая и мускатная обладали схожими профилями ДНК при использовании этих праймеров в реакции.

При дальнейшем анализе использовали данные только по семи наиболее информативным праймерам – I-4, P1, P2, UBC808, UBC818,

UBC840, UBC849. Были проведены расчеты на основе полученных ISSR-спектров и данных о полиморфизме ДНК-фрагментов.

Коэффициенты попарных генетических различий у разных видов изменялись от 0,48 до 0,96 [34].

Для использованных в анализе праймеров провели статистические расчеты и определили уровень информационного полиморфизма (табл. 2). Величина информационного полиморфизма (PIC) для этих праймеров была сопоставима между собой и характеризовалась высокими значениями.

Таблица 2 – Статистический анализ праймеров /
Table 2 – Statistical analysis of primers

| Праймер / Primer | PIC | Rp |
|------------------|------|-----|
| I-4 | 0,93 | 6,4 |
| P1 | 0,95 | 7,0 |
| P2 | 0,88 | 8,6 |
| UBC808 | 0,95 | 8,0 |
| UBC818 | 0,92 | 5,2 |
| UBC840 | 0,93 | 7,2 |
| UBC849 | 0,93 | 5,2 |

Индекс разрешающей способности (Rp) используется для оценки способности молекулярных систем различать большинство видов растений. В ходе проведенного нами исследования выяснилось, что не все праймеры имеют высокое разрешение. Например, праймеры UBC818 и UBC849 были охарактеризованы величиной Rp 5,2, что является низким показателем.

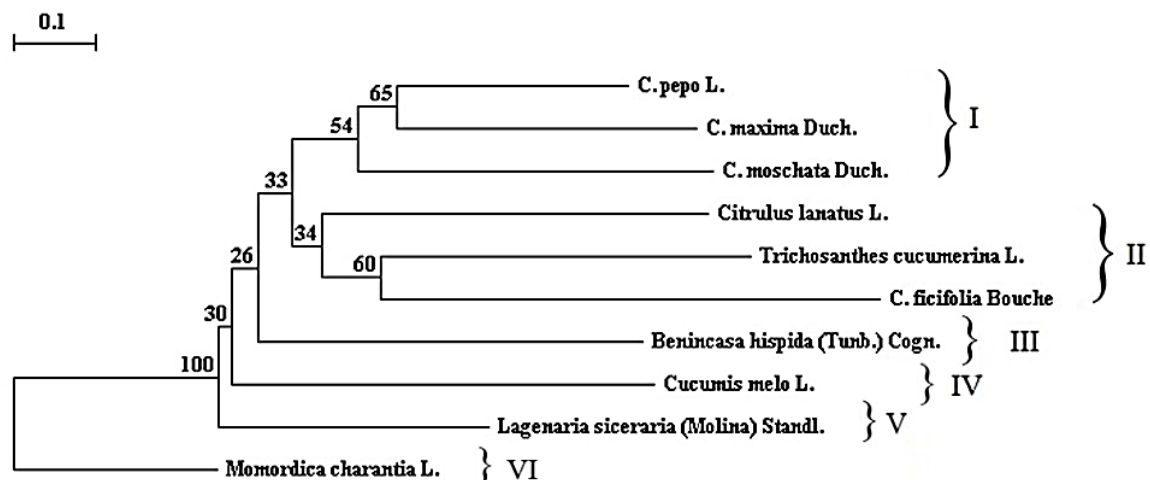


Рис. 1. Дендрограмма генетического сходства видов семейства Тыквенные, построенная на основании анализа 76 полиморфных амплифицированных ISSR-фрагментов (значения бутстреп в %) /

Fig. 1. Dendrogram of genetic similarity of species of the Cucurbitaceae family, constructed based on the analysis of 76 polymorphic amplified ISSR-fragments (bootstrap values in %)

На дендрограмме все исследуемые генотипы сгруппированы в два больших кластера с высокой степенью надежности порядка ветвления (индекс бутстрепа – 100 %). В первый кластер были отнесены группы I-IV, во второй – V-группа (лагенария) и VI-группа (момордика). Группы I и II представлены тремя видами, с III по VI – по 1 виду. Большинство видов тыкв, кроме фиголистной, находились в первой группе внутри кластера с высокой бутстреп-поддержкой – 65 и 54 %. Объединение тыквы фиголистной (*C. Ficifolia* Bouche.) с трихозантом змеевидным в одну группу также характеризовалось высоким значением бутстрепа в узле (60 %), тогда как арбуз шерстистый примыкал к ним с более низкой вероятностью (34 %).

Проведенные учеты приживаемости момордики и трихозанта при прививке на различные виды подвоев (5 видов) показали, что в среднем за период исследований (2017–2020 гг.) она отмечена выше у трихозанта – 84,4 %, и меньше у момордики – 79,8 %. В зависимости от года проведения исследований выявлены различия в успешности приживаемости: у трихозанта по годам изменилась от 74,3 до 100 %, у момордики – от 50,0 до 100 % (табл. 3). Следует отметить, что в успешности прививок, срастаемости компонентов прививки, кроме генетического родства растений и их физио-

На основе данных, полученных в результате исследований геномной ДНК представителей семейства Тыквенные, методом невзвешенных парных групп (UPGMA) была построена дендрограмма на основе 76 полученных аллелей, отражающая степень родства тестируемых растений по спектрам ISSR (рис. 1).

логической совместимости, большую роль играют квалификация прививальщика, а также микроклиматические условия. В опыте с момордикой были отмечены достоверные различия по приживаемости растений в 2018 и 2020 гг. – 88,0 и 71,4 %, а также в 2019 и 2020 гг. – 87,5 и 71,4 % соответственно. В опыте с прививкой трихозанта достоверные различия по приживаемости выявлены в 2019 и 2020 гг. – 91,3 и 75,0 % соответственно, что свидетельствует о существенном влиянии условий года.

В среднем по прививкам момордики были выявлены достоверные различия по приживаемости между вариантами используемого подвоя – тыква крупноплодная, обеспечившая самую высокую приживаемость в исследованиях, в среднем – 94,6 %, и тыква мускатная, на которой приживаемость составляла всего 67,1 % (рис. 2). Остальные варианты подвоев – тыква твердокорая, тыква фиголистная и лагенария обеспечивали средний уровень приживаемости – 73,9–84,2 %.

При прививке трихозанта змеевидного между разными вариантами подвоя достоверных различий выявлено не было. Приживаемость трихозанта змеевидного на разных видах тыквы и лагенарии была на одинаковом уровне – 73,8–88,9 %, что свидетельствует об отсутствии влияния вида подвоя на данный показатель.

Таблица 3 – Приживаемость момордики харантия и трихозанта змеевидного на различных подвоях, % /
Table 3 – Survival rate of momordica charantia and trichosanthes serpentine on various rootstocks, %

| Вариант подвоя, вид тыквы / Rootstock variant, pumpkin species | Момордика / Momordica | | | | | Трихозант / Trichozant | | | | |
|--|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2017–2020 гг. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2017–2020 гг. |
| На тыкву твердокорую / On a hard-barked pumpkin | 62,5±0,4 | 86,7±0,7 | 87,5±1,0 | 81,5±0,7 | 79,6±5,9 | 75,0±0,2 | 90,3±0,2 | 100,0±0,02 | 75,0±0,2 | 85,1±6,1 |
| На тыкву крупноплодную / On a large-fruited pumpkin | 100,0±0,1 | 100,0±0,0 | 100,0±0,03 | 78,5±0,9 | 94,6±5,4 C | 87,5±0,6 | 100,0±0,1 | 87,5±0,6 | 62,5±0,4 | 84,4±7,9 |
| На тыкву мускатную / On a nutmeg pumpkin | 50,0±3,9 | 86,7±1,2 | 75,0±0,6 | 56,5±0,6 | 67,1±8,4 D | 62,5±0,4 | 70,3±0,1 | 75,0±0,4 | 87,5±0,7 | 73,8±5,2 |
| На тыкву фиголистную / On a fig-leaved pumpkin | 87,5±0,6 | 90,0±0,3 | 81,3±0,7 | 78,0±0,4 | 84,2±2,8 | 87,5±0,6 | 90,0±0,3 | 93,8±0,7 | 68,8±0,5 | 85,0±5,6 |
| На лагенарию / To lagenaria | 62,5±0,4 | 76,8±0,4 | 93,8±0,7 | 62,5±0,2 | 73,9±7,4 | 100,0±0,0 | 74,3±0,5 | 100,0±0,03 | 81,3±0,4 | 88,9±6,6 |
| Среднее по подвоям / Average for rootstocks | 72,5±9,2 | 88,0±3,7 A | 87,5±4,4 A | 71,4±5,0 B | 79,9±4,7 | 82,5±6,4 | 85,0±5,5 | 91,3±4,7 a | 75,0±4,4 b | 83,4±2,5 |

Примечание: Во всех случаях достоверные различия ($p<0,05$) отмечены разными буквами / Note: In all cases, significant differences ($p<0,05$) are marked with different letters

Таблица 4 – Приживаемость арбуза и дыни на различных подвоях, % /
Table 4 – Survival rate of watermelon and melon on various rootstocks, %

| Вариант подвоя, вид тыквы / Rootstockvariant, pumpkin species | Арбуз / Watermelon | | | | | Дыня / Melon | | | | | | |
|---|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2010–2014 гг. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2010–2014 гг. |
| На тыкву твердокорую / On a hard-barked pumpkin | 42,9±1,8 | 48,8±0,8 | 68,7±0,5 | 88,4±1,7 | 89,9±1,1 | 67,7±9,7 | 27,3±0,8 | 71,2±0,9 | 93,4±1,3 | 96,9±0,5 | 97,5±1,4 | 77,3±13,4 |
| На тыкву крупноплодную / On a large-fruited pumpkin | 30,0±1,2 | 77,7±1,2 | 65,8±0,7 | 83,8±1,1 | 80,0±0,1 | 67,5±9,8 | 16,7±0,7 | 47,2±1,3 | 69,7±2,3 | 77,8±1,4 | 80,0±1,2 | 58,3±11,9 |
| На тыкву мускатную / On a nutmeg pumpkin | 7,1±0,5 | 35,6±0,6 | 74,3±1,8 | 88,1±2,6 | 94,2±2,3 | 59,9±16,7 | 25,0±0,7 | 91,6±1,0 | 76,8±1,2 | 82,1±0,9 | 76,5±1,4 | 70,4±11,7 |
| На тыкву фиголистную / On a fig-leaved pumpkin | 20,0±1,2 | 66,0±0,6 | 64,2±0,8 | 76,6±0,7 | 97,1±1,5 | 64,8±12,6 | 27,8±0,6 | 66,0±0,8 | 54,6±0,7 | 75,0±0,9 | 95,3±1,4 | 63,7±11,2 |
| На беннказу / To benincasa | 30,0±1,7 | 52,9±1,0 | 51,0±1,2 | 76,9±1,5 | 90,0±1,7 | 60,2±10,5 | 38,9±0,6 | 71,9±0,7 | 58,4±1,0 | 81,4±0,3 | 82,5±0,5 | 66,6±8,2 |
| На лагенарию / To lagenaria | 60,0±0,8 | 63,3±0,9 | 80,3±1,0 | 98,2±1,1 | 99,5±0,4 | 80,4±8,4 | 50,0±2,7 | 35,6±0,7 | 62,3±0,8 | 73,7±0,7 | 88,9±0,8 | 62,1±9,2 |
| Среднее по подвоям / Average for rootstocks | 31,7±7,5 A | 57,4±6,0 B | 67,4±4,1 B | 85,3±3,3 C | 91,9±2,9 C | 66,8±3,1 | 31,0±4,8 a | 63,9±8,1 b | 69,2±5,8 b | 81,2±3,4 bc | 86,8±3,5 c | 66,4±2,7 |

Примечание: Во всех случаях достоверные различия ($p<0,05$) отмечены разными буквами / Note: In all cases, significant differences ($p<0,05$) are marked with different letters

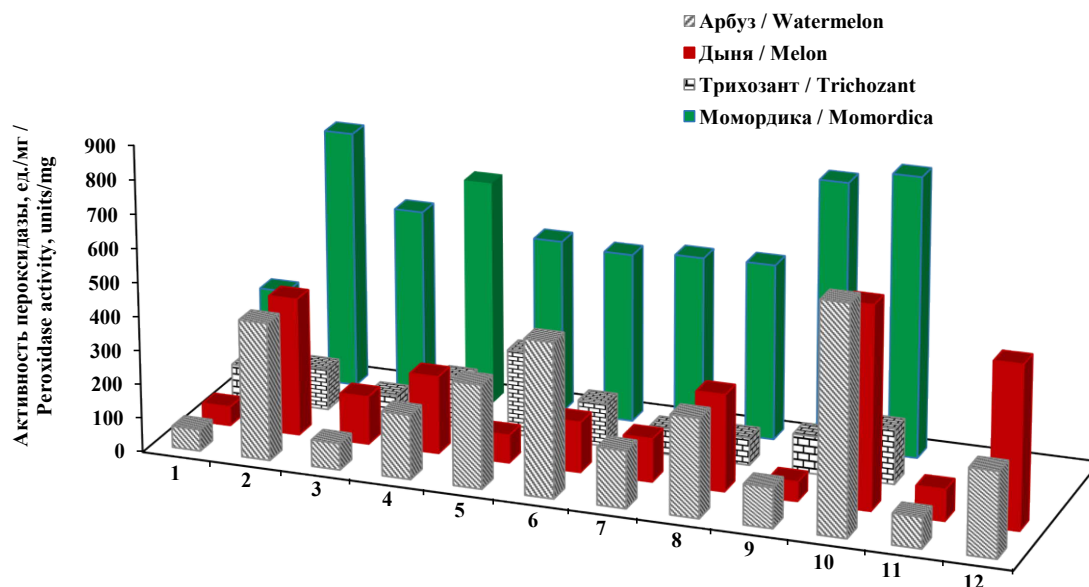


Рис. 2. Активность пероксидазы в компонентах прививки в период срастания в зависимости от привойно-подвойных комбинаций, ед./мг: 1 – на тыкву твердокорую (привой); 2 – на тыкву твердокорую (подвой); 3 – на тыкву крупноплодную (привой); 4 – на тыкву крупноплодную (подвой); 5 – на тыкву мускатную (привой); 6 – на тыкву мускатную (подвой); 7 – на тыкву фиголистную (привой); 8 – на тыкву фиголистную (подвой); 9 – на лагенарию (привой); 10 – на лагенарию (подвой); 11 – на бенинказу (привой); 12 – на бенинказу (подвой)

Fig. 2. Peroxidase activity in the grafting components during inosculation period depending on the -rootstock combinations, units/g: 1 – on a hard-barked pumpkin (graft); 2 – on a hard-barked pumpkin (rootstock); 3 – on a large-fruited pumpkin (graft); 4 – on a large-fruited pumpkin (rootstock); 5 – on a nutmeg pumpkin (graft); 6 – on a nutmeg pumpkin (rootstock); 7 – on a fig-leaved pumpkin (graft); 8 – on a fig-leaved pumpkin (rootstock); 9 – to lagenaria (graft); 10 – to lagenaria ((rootstock); 11 – to benincasa (graft); 12 – to benincasa (rootstock)

В исследованиях по изучению приживаемости арбуза и дыни на разных видах подвоев было выявлено, что в среднем у арбуза высокая приживаемость отмечена в варианте прививки на лагенарию – 80,4 %, а наименьшая – на тыкву мускатную – 59,9 % (табл. 4). Остальные варианты подвоев обеспечивали средний в опыте уровень приживаемости – 60,2–67,7 %.

При прививке дыни приживаемость на разных видах тыквы варьировала и изменялась в среднем за годы исследований в пределах 62,1–70,4 %, максимальный показатель получен в варианте прививки на тыкву твердокорую – 77,3 %, минимальный – на тыкву крупноплодную – 58,3 %.

Расчёт (по t-критерию Стьюдента) достоверности влияния года исследований на приживаемость арбуза и дыни различий не выявил.

Для оценки влияния генетических особенностей видов подвоя на приживаемость арбуза, дыни, момордики и трихозанта был проведен корреляционный анализ зависимости приживаемости привоев от степени генетического сходства (табл. 5).

Полученные результаты показали, что только у арбуза имелаась средняя зависимость приживаемости от значения степени генетического сходства с видами подвоев. На успеш-

ность приживаемости дыни, момордики и трихозанта на разные виды подвоев степень генетического родства значительного влияния не оказывала.

На совместимость в привойно-подвойных комбинациях большое влияние может оказывать уровень содержания в тканях привоя и подвоя различных ферментов. Предполагается, что ведущую роль в подавлении свободно-радикального окисления играет антиоксидантная система защиты растительного организма, состоящая из высокомолекулярных и низкомолекулярных антиоксидантов. К ферментам, которые оказывают влияние на совместимость компонентов прививки, относится пероксидаза [35].

С целью установления влияния фермента пероксидазы на приживаемость привоев, в зависимости от вида подвоя в прививочных опытах, на пятые сутки после прививки провели анализы её активности в период срастания компонентов прививки как в привое, так и в надземной части подвоя до момента её удаления (рис. 2). В результате проведенных исследований выявлены существенные колебания показателя активности пероксидазы в надземной части привоев в зависимости от варианта используемого вида подвоя.

Таблица 5 – Приживаемость привоев и степень их генетического сходства с видами подвоев /
Table 5 – Survival rate of scions and the degree of their genetic similarity with rootstock species

| Вариант подвоя, вид тыквы / Rootstock variant, pumpkin species | Вид привоя / Scion type | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| | Арбуз / Watermelon | | Дыня / Melon | | Момордика / Momordica | | Трихозант / Trichosan. | |
| | приживаемость, % / survival rate, % | степень генетического сходства, % / degree of genetic similarity, % | приживаемость, % / survival rate, % | степень генетического сходства, % / degree of genetic similarity, % | приживаемость, % / survival rate, % | степень генетического сходства, % / degree of genetic similarity, % | приживаемость, % / survival rate, % | степень генетического сходства, % / degree of genetic similarity, % |
| На тыкву твердокорую / On a hard-barked pumpkin | 67,7±9,7 | 32,8 | 77,3±13,4 | 24,2 | 79,6±5,9 | 25,9 | 85,1±6,1 | 25,0 |
| На тыкву крупноплодную / On a large-fruited pumpkin | 67,5±9,8 | 20,7 | 58,3±11,9 | 22,2 | 94,6±5,4 | 31,4 | 84,4±7,9 | 18,9 |
| На тыкву мускатную / On a nutmeg pumpkin | 59,9±16,7 | 31,0 | 70,4±11,7 | 12,7 | 67,1±8,4 | 15,7 | 73,8±5,2 | 22,6 |
| На тыкву фиголистную / On a fig-leaved pumpkin | 64,8±12,6 | 9,8 | 63,7±11,2 | 4,3 | 84,2±2,8 | 11,8 | 85,0±5,6 | 22,2 |
| На бенинказу / To benincasa | 60,2±10,5 | 23,5 | 66,6±8,2 | 25,0 | - | - | - | - |
| На лагенарию / To lagenaria | 80,4±8,4 | 34,0 | 62,1±9,2 | 37,9 | 73,9±7,4 | 39,1 | 88,9±6,6 | 25,0 |
| <i>r</i> | 0,36 | | -0,09 | | 0,15 | | 0,23 | |

Так, в опытах с момордикой минимальное значение активности пероксидазы в привое было отмечено при прививке на тыкву твердокорую – 257,3 ед./мг, максимальное на лагенарию – 782,9 ед./мг, в опытах с трихозантом соответственно на тыкве крупноплодной – 69,5 ед./мг и тыкве мускатной – 249,6 ед./мг, в опытах с арбузом на тыкве твердокорой – 63,0 ед./мг и тыкве мускатной – 305,3 ед./мг, в опытах с дыней на тыкве твердокорой – 55,4 ед./мг и тыкве фиголистной – 127,0 ед./мг.

Следует отметить, что в период срастания компонентов прививки была выявлена сильная положительная зависимость активности пероксидазы привоя арбуза от активности пероксидазы используемых подвоев ($r = 0,90$), средняя отрицательная в опыте с дыней ($r = -0,55$). В остальных привойно-подвойных опытах данная зависимость была слабая и коэффициент корреляции составил: с трихозантом – 0,31 и арбузом – 0,21.

Расчет корреляции приживаемости момордики при прививке на различные подвои от активности пероксидазы выявил слабую положительную зависимость приживаемости от активности пероксидазы как в привое ($r = 0,25$), так и от активности пероксидазы в подвое ($r = 0,24$).

Расчеты корреляции приживаемости трихозанта при прививке на различные подвои от активности пероксидазы выявил слабую отрицательную зависимость приживаемости от активности пероксидазы в привое ($r = -0,20$) и практически нулевую зависимость от активности пероксидазы в подвое ($r = 0,03$).

В исследованиях с арбузом приживаемость привоя на подвое слабо зависела от активности фермента пероксидазы в привое ($r = 0,13$) и в средней степени – от активности пероксидазы в подвое ($r = 0,49$). В исследованиях с дыней ее приживаемость слабо зависела от активности пероксидазы в привое и подвое, коэффициент корреляции составил соответственно -0,29 и 0,03.

Еще одним эндогенным фактором, который может оказывать влияние на приживаемость и совместимость компонентов прививки, является содержание в тканях растений аскорбиновой кислоты. С целью выявления влияния содержания аскорбиновой кислоты на приживаемость момордики, трихозанта, арбуза и дыни на разных подвоях были проведены анализы ее содержания в компонентах прививки в период срастания (рис. 3).

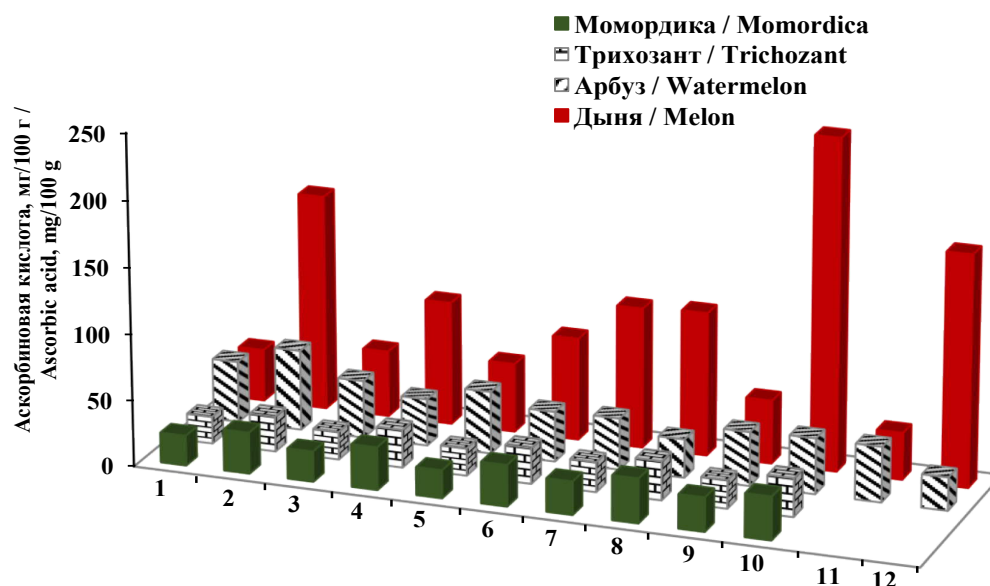


Рис. 3. Содержание аскорбиновой кислоты в компонентах прививки в период срастания в зависимости от привойно-подвойных комбинаций, мг/100 г: 1 – на тыкву твердокорую (привой); 2 – на тыкву твердокорую (подвой); 3 – на тыкву крупноплодную (привой); 4 – на тыкву крупноплодную (подвой); 5 – на тыкву мускатную (привой); 6 – на тыкву мускатную (подвой); 7 – на тыкву фиголистную (привой); 8 – на тыкву фиголистную (подвой); 9 – на лагенарию (привой); 10 – на лагенарию (подвой); 11 – на бенинказу (привой); 12 – на бенинказу (подвой) /

Fig. 3. The content of ascorbic acid in the components of the graft during inosculation period, depending on the graft-rootstock combinations, mg/100 g: 1 – on a hard-barked pumpkin (graft); 2 – on a hard-barked pumpkin (rootstock); 3 – on a large-fruited pumpkin (graft); 4 – on a large-fruited pumpkin (rootstock); 5 – on a nutmeg pumpkin (graft); 6 – on a nutmeg pumpkin (rootstock); 7 – on a fig-leaved pumpkin (graft); 8 – on a fig-leaved pumpkin (rootstock); 9 – to lagenaria (graft); 10 – to lagenaria ((rootstock); 11 – to benincasa (graft); 12 – to benincasa (rootstock)

В исследованиях с момордикой, трихозантом и арбузом не было выявлено значительных различий по содержанию аскорбиновой кислоты в привое и подвое между вариантами. Содержание аскорбиновой кислоты у момордики в привое в зависимости от варианта изменялось в пределах 21,1–25,7 мг/100 г, а в различных видах подвоя в период срастания до удаления надземной части составило 31,0–33,6 мг/100 г. В привое трихозанта в период срастания содержание аскорбиновой кислоты находилось в пределах 20,5–22,6 мг/100 г, а в различных вариантах подвоя – 26,6–29,4 мг/100 г. В период срастания арбуза в тканях надземной части содержание аскорбиновой кислоты было в пределах 38,7–46,9 мг/100 г, а в его подвоях он изменялся – от 25,0 мг/100 г у бенинказы до 60,4 мг/100 г у тыквы твердокорой.

Более значительные колебания значения показателя аскорбиновой кислоты в прививаемых компонентах в зависимости от варианта отмечены в исследованиях с дыней. В привое дыни минимальное значение в опыте содержания аскорбиновой кислоты отмечено в варианте с прививкой на тыкву твердокорую – 39,1 мг/100 г, максимальное на тыкву фиголистную – 105,7 мг/100 г. При этом в используемых видах

подвоев значение содержания аскорбиновой кислоты изменялось от 77,0 мг/100 г у тыквы мускатной до 249,5 мг/100 г у лагенарии.

Также следует отметить, что на содержание аскорбиновой кислоты в привое момордики, трихозанта и арбуза влияло её содержание в подвое, взаимосвязь была положительной и средней, коэффициент корреляции составил 0,47, 0,69 и 0,54 соответственно. Зависимость содержания аскорбиновой кислоты в привое дыни от ее содержания в подвое была слабой ($r = 0,17$).

Расчеты корреляционной зависимости показателя приживаемости от содержания аскорбиновой кислоты при прививке момордики на различные виды тыкв не выявили существенной взаимосвязи.

Зависимость показателя приживаемости при прививке трихозанта на различные виды тыкв от показателя содержания аскорбиновой кислоты в привое выявлена слабая ($r = 0,30$), и от ее показателя в подвое – средняя ($r = 0,48$).

В исследованиях с арбузом приживаемость была слабо сопряжена с содержанием аскорбиновой кислоты в привое ($r = 0,19$) и в средней степени зависела от ее содержания в подвое ($r = 0,31$). На приживаемость дыни

содержание аскорбиновой кислоты в привое и подвое не оказывало влияния, коэффициент корреляции составил -0,08 и 0,08 соответственно.

Корреляция Пирсона между активностью пероксидазы привоя и активностью пероксидазы подвоя составила в опытах: по момордике – сильная ($r = 0,9$); трихозанту – умеренная ($r = 0,3$); по арбузу – слабая ($r = 0,2$); дыне – средняя отрицательная ($r = -0,6$).

Корреляционная зависимость показателя приживаемости прививки от содержания аскорбиновой кислоты в привое и подвое в период срастания в опытах получена: с момордикой и арбузом – средняя ($r = 0,5$); с трихозантом – сильная ($r = 0,7$); с дыней – слабая ($r = 0,2$).

Заключение. Таким образом, среди 11 изученных праймеров выявлены 7 достаточно информативных для изучения межвидового полиморфизма тыквенных культур. По ISSR-спектрам таксоны разделились на 2 кластера, межвидовые группировки каждой клады поддерживались средними значениями бутстрэпа (от 26 до 100 %).

При прививке момордики выявлены достоверные различия по приживаемости в зависимости от вида используемого подвоя. Максимальная приживаемость обеспечивалась при прививке на тыкву крупноплодную – 94,6 %, а самая низкая – при прививке на тыкву мускатную – 67,1 %. В исследованиях с при-

вивкой арбуза, дыни и трихозанта достоверной роли видов подвоев на привой не выявлено.

В исследованиях с прививкой арбуза на различные виды подвоев установлено среднее влияние степени генетического сходства с подвоем на его приживаемость ($r = 0,36$). При прививках дыни, момордики и трихозанта на различные виды подвоев из других родов семейства Тыквенные степень генетического сходства на успешность приживаемости оказывала слабое влияние.

Активность пероксидазы в компонентах прививки в период срастания оказывала слабое влияние на приживаемость момордики, трихозанта и дыни на разных видах подвоев. Приживаемость арбуза слабо зависела от активности пероксидазы в привое, в средней степени – в подвое.

Приживаемость момордики, арбуза на разных видах подвоя была в слабой степени обусловлена содержанием аскорбиновой кислоты в привое и в средней степени зависела от её содержания в подвое. Отмечена сильная корреляция приживаемости трихозанта на различных видах подвоев с содержанием аскорбиновой кислоты ($r = 0,7$). У арбуза приживаемость слабо зависела от содержания аскорбиновой кислоты в привое и в средней степени от ее содержания в подвое. На приживаемость дыни содержание аскорбиновой кислоты в привое и подвое не оказывало действия.

Список литературы

1. Лебедева С. П. Внедрение культуры дыни в северные районы СССР. М.: Сельхозгиз, 1944. С. 64. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005354062?ysclid=ltmpievsft685488377>
2. Лебедева С. П. Опыты по трансплантации тыквенных. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1930;23(3):521–532.
3. Лебедева С. П. Трансплантация у тыквенных. Сад и огород. 1937;(6):9–15.
4. Георгиев Хр. Прививки тепличных культур на устойчивые подвои: промышленное производство овощей в теплицах. М., София: Колос, Земиздат, 1977. С. 152–156.
5. Traka-Mavrona E., Koutsika-Sotiriou M., Pritsa T. Response of squash (*Cucurbita* spp.) as rootstock for melon (*Cucumis melo* L.). *Scientia Horticulturae*. 2000;83(3-4):353–362. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00088-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00088-6)
6. Каратаев Е. С., Борак Сихам С. Рост и развитие растений огурца, привитого на тыкву. Применение регуляторов роста и пленочных материалов в овощеводстве: сб. тр. Ленинградского СХИ. Л., 1986. С. 60–65.
7. Модестов А. П. Трансплантация в растениеводстве. М.: Циклогич. станция ВАСХНИЛ, 1932. С. 35.
8. Iwasaki M., Inaba T. Effect of Different Cucurbit Rootstocks on Incidence of Viral Wilt in Grafted Cucurbit Plants. *Japanese Journal of Phytopathology*. 1990;56(5):674–676. DOI: <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.56.674>
9. Jung-Myung Lee. Cultivation of Grafted Vegetables I. Current Status, Grafting Methods, and Benefits. *HortScience*. 1994;29(4):235–239. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.4.235>
10. Oda M. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 1995;(2):187–198. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/New-grafting-methods-for-fruit-bearing-vegetables-Oda/aa18182ab7d9fc1c8d39c00bcf7b52145bbd462f>
11. Федоров А. В., Ардашева О. А. Биологические и технологические основы применения прививки при выращивании тыквенных культур в сооружениях защищенного грунта. Ижевск: «Шелест», 2017. С. 222–257.
12. Федоров А. В., Тутова Т. Н., Папонов А. Н., Применение прививки и физиологически активных веществ при выращивании огурца: монография. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2006. С. 113.
13. Мусихин С. А., Федоров А. В., Ардашева О. А. Динамика активности пероксидазы в основные фазы развития в растениях *Trichosanthes cucumerina* L. при прививке на разные виды подвоев *Cucurbita*. Пермский аграрный вестник. 2021;(4(36)):59–65. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_59 EDN: CPNOGE

14. Мусихин С. А., Федоров А. В., Ардашева О. А. Результаты интродукции *Momordica charantia* L. при при-
вивке на виды тыкв в условиях Среднего Предуралья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной
академии. 2021;(1(53)):112–116. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-112-116> EDN: UMMMSG
15. Кружилин А. С. Физиология срастания и взаимовлияния привоя и подвоя растений. Физиология сельско-
хозяйственных растений. М.: изд-во МГУ, 1968. 272 с.
Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006231203?ysclid=ltm3z6u998041555>
16. Кренке Н. П. Трансплантация растений. М.: Наука, 1966. С. 337.
Режим доступа: <https://reallib.org/reader?file=1426957&ysclid=ltmiv2dcsb546114568>
17. Чесноков Ю. В. Генетические маркеры: сравнительная классификация молекулярных маркеров. Овощи России.
2018;(3(41)):11–15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35295161> EDN: XTXEFN
18. Ильницкая Е. Т., Макаркина М. В., Степанов И. В., Супрун И. И., Токмаков С. В., Айба В. Ш., Авид-
зба М. А., Котляр В. К. Генетический полиморфизм аборигенных абхазских сортов винограда. Вавиловский журнал
генетики и селекции. 2021;(25(8)):797–804. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.092> EDN: TSIOLZ
19. Канукова К. Р., Газзев И. Х., Сабанчиева Л. К., Боготова З. И., Аппаев С. П. ДНК-маркеры в растениеводстве.
Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019;(6(92)):220–232.
DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2019-6-92-220-232> EDN: CKFLHI
20. Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase
chain reaction amplification. Genomics. 1994;20(2):176–183. DOI: <https://doi.org/10.1006/geno.1994.1151>
21. Сухарева А. С., Кулуев Б. Р. ДНК-маркеры для генетического анализа сортов культурных растений.
Биомика. 2018;10(1):069–084. DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15> EDN: XRLWSL
22. Guliyev N., Sharifova S., Ojaghi J., Abbasov M., Akparov Z. Genetic diversity among melon (*Cucumis melo* L.)
accessions revealed by morphological traits and ISSR markers. Turkish Journal of Agriculture and Forestry.
2018;42(6):393–401. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1707-18>
23. Singh D. K., Rajni Tewari, Singh N. K., Shanshank Singh S. Genetic Diversity Cucumber Using Inter Simple
Sequence Repeats (ISSR). Transcriptomics. 2016;4(1):1000129. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8936.1000129>
24. Henareh M., Dursun A., Abdollahi Mandoulakani B., Haliloglu K. Assessment of genetic diversity in tomato landraces
using ISSR markers. Genetika. 2016;48(1):25–35. DOI: <https://doi.org/10.2298/GENSR1601025H>
25. Onamu R., Legaria J., Rodríguez J. L., Sahagún J., Pérez J. Molecular characterization of potato (*Solanum
tuberosum* L.) genotypes using random amplified polymorphic DNA (RAPD) and inter simple sequence repeat (ISSR) markers.
African Journal of Biotechnology. 2016;15(22):1015–1025. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB11.2656>
26. Rogers S. O., Bendich A. J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant
tissues. Plant Molecular Biology. 1985;5(2):69–76. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00020088>
27. Cota-Sánchez J. H., Remarchuk K., Ubayasena K. Ready-to-use DNA extracted with a CTAB method adapted
for herbarium specimens and mucilaginous plant tissue. Plant Molecular Biology Reporter. 2006;24(2):161–167.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02914055>
28. Боронникова С. В., Кокаева З. Г., Гостимский С. А., Дрибноходова О. П., Тихомирова Н. Н. Анализ ДНК-поли-
морфизма реликтового вида Урала наперстянки крупноцветковой (*Digitalis grandiflora* Mill.) с помощью RAPD- и
ISSR-маркеров. Генетика. 2007;43(5):653–659. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9535705> EDN: IARKSV
29. Payel D., Mala P., Sunita S. Inter-genus variation analysis in few members of Cucurbitaceae based on ISSR markers.
Biotechnology and Biotechnological Equipment. 2015;29(5):882–886. DOI: <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1052760>
30. Чесноков Ю. В., Артемьева А. М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообра-
зия. Сельскохозяйственная биология. 2015;50(5):571–578. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.571rus>
EDN: UXSRIX
31. Van de Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing
of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. Bioinformatics. 1994;10(5):569–570.
DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/10.5.569>
32. Akash M., Awad N., Kasrawi M. Genetic diversity among snake melon landraces (*Cucumis Melo* Var. *Flexuosus*)
using molecular descriptors. Plant Biosystems – An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology.
2020;154(2):206–212. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1587536>
33. Pratami M. P., Chikmawati T., Rugayah. Genetic diversity of *Cucumis* and *Mukia* (Cucurbitaceae) based on ISSR
markers. SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2020;52(2):127–143.
URL: <https://sabraojournal.org/wp-content/uploads/2020/06/SABRAO-J-Breed-Genet-522-127-143Pratami.pdf>
34. Nei M., Li W. H. Mathematical Model for Studying Genetic Variation in Terms of Restriction Endonucleases.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1979;76(10):5269–5273.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.76.10.5269>
35. Тимофеев М. А., Шатилина Ж. М., Бедулина Д. С., Протопопова М. В., Грабельных О. И., Побежимова Т. П.,
Колесниченко А. В. Стрессовые белки в механизмах стресс-адаптации Байкальских амфипод, сопоставление с пале-
арктическими видами. Журнал стресс-физиологии и биохимии. 2006;2(1):41–50.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11715841> EDN: JWJVGR

References

1. Lebedeva S. P. The introduction of melon culture in the northern regions of the USSR. Moscow: *Sel'khozgiz*, 1944. p. 64. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005354062?ysclid=ltmpjevsft685488377>
2. Lebedeva S. P. Pumpkin transplantation experiments. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 1930;23(3):521–532. (In Russ.).
3. Lebedeva S. P. Transplantation in pumpkin plants. *Sad i ogorod*. 1937;(6):9–15. (In Russ.).
4. Georgiev Khr. Inoculation of greenhouse crops on sustainable rootstocks: industrial production of vegetables in greenhouses. Moscow, Sofiya: *Kolos, Zemizdat*, 1977. pp. 152–156.
5. Traka-Mavrona E., Koutsika-Sotiriou M., Pritsa T. Response of squash (*Cucurbita* spp.) as rootstock for melon (*Cucumis melo* L.). *Scientia Horticulturae*. 2000;83(3-4):353–362. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(99\)00088-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(99)00088-6)
6. Karataev E. S., Borak Sikham S. The growth and development of cucumber plants grafted on pumpkin. The use of growth regulators and film materials in vegetable growing: collection of articles of Leningrad Agricultural Institute. Leningrad, 1986. pp. 60–65.
7. Modestov A. P. Transplantation in crop production. Moscow: *Tsikologich. stantsiya VASKhNIL*, 1932. pp. 35.
8. Iwasaki M., Inaba T. Effect of Different Cucurbit Rootstocks on Incidence of Viral Wilt in Grafted Cucumber Plants. *Japanese Journal of Phytopathology*. 1990;56(5):674–676. DOI: <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.56.674>
9. Jung-Myung Lee. Cultivation of Grafted Vegetables I. Current Status, Grafting Methods, and Benefits. *HortScience*. 1994;29(4):235–239. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.4.235>
10. Oda M. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 1995;(2):187–198. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/New-grafting-methods-for-fruit-bearing-vegetables-Oda/aa18182ab7d9fc1c8d39c00bcf7b52145bbd462f>
11. Fedorov A. V., Ardasheva O. A. Biological and technological bases of inoculation application in the cultivation of pumpkin crops in protected ground structures. Izhevsk: «*Shelest*», 2017. pp. 222–257.
12. Fedorov A. V., Tutova T. N., Paponov A. N., The use of vaccinations and physiologically active substances in cucumber cultivation: monograph. Izhevsk: *Izhevskaya GSKhA*, 2006. pp. 113.
13. Musikhin S. A., Fedorov A. V., Ardasheva O. A. Dynamics of peroxidase activity in the main phases of development in *Trichosanthes cucumerina* L. plants when grafting on different types of *Cucurbita* rootstocks. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2021;(4(36)):59–65. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_59
14. Musikhin S. A., Fedorov A. V., Ardasheva O. A. Results of introduction of *Momordica charantia* L. when grafting on pumpkin varieties in the conditions of the middle Cis-Ural region. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(1(53)):112–116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-112-116>
15. Kruzhilin A. S. The physiology of inoculation and mutual influence of the scion and rootstock of plants. Physiology of agricultural plants. Moscow: *izd-vo MGU*, 1968. 272 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006231203?ysclid=ltmpo3zt6u998041555>
16. Krenke N. P. Plant transplantation. Moscow: *Nauka*, 1966. pp. 337. URL: <https://reallib.org/reader?file=1426957&ysclid=ltmiy2dcsb546114568>
17. Chesnokov Yu. V. Genetic markers: comparative classification of molecular markers. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2018;(3(41)):11–15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35295161>
18. Ilnitskaya E. T., Makarkina M. V., Stepanov I. V., Suprun I. I., Tokmakov S. V., Ayba V. Sh., Avidzba M. A., Kotlyar V. K. Genetic polymorphism of local abkhazian grape cultivars. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;(25(8)):797–804. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.092>
19. Kanukova K. R., Gazaev I. Kh., Sabanchieva L. K., Bogotova Z. I., Appaev S. P. DNA markers in crop production. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2019;(6(92)):220–232. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2019-6-92-220-232>
20. Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics*. 1994;20(2):176–183. DOI: <https://doi.org/10.1006/geno.1994.1151>
21. Sukhareva A. S., Kuluev B. R. DNA markers for genetic analysis of crops. *Biomika* = Biomics. 2018;10(1):069–084. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmc.2018-15>
22. Guliyev N., Sharifova S., Ojaghi J., Abbasov M., Akparov Z. Genetic diversity among melon (*Cucumis melo* L.) accessions revealed by morphological traits and ISSR markers. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2018;42(6):393–401. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1707-18>
23. Singh D. K., Rajni Tewari, Singh N. K., Shanshank Singh S. Genetic Diversity Cucumber Using Inter Simple Sequence Repeats (ISSR). *Transcriptomics*. 2016;4(1):1000129. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8936.1000129>
24. Henareh M., Dursun A., Abdollahi Mandoulakani B., Haliloğlu K. Assessment of genetic diversity in tomato landraces using ISSR markers. *Genetika*. 2016;48(1):25–35. DOI: <https://doi.org/10.2298/GENSR1601025H>
25. Onamu R., Legaria J., Rodríguez J. L., Sahagún J., Pérez J. Molecular characterization of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes using random amplified polymorphic DNA (RAPD) and inter simple sequence repeat (ISSR) markers. *African Journal of Biotechnology*. 2016;15(22):1015–1025. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB11.2656>
26. Rogers S. O., Bendich A. J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. 1985;5(2):69–76. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00020088>

27. Cota-Sánchez J. H., Remarchuk K., Ubayasena K. Ready-to-use DNA extracted with a CTAB method adapted for herbarium specimens and mucilaginous plant tissue. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2006;24(2):161–167. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02914055>
28. Boronnikova S. V., Kokaeva Z. G., Gostimskiy S. A., Dribnokhodova O. P., Tikhomirova N. N. Analysis of DNA polymorphism in a relict uralian species, large-flowered foxglove (*Digitalis grandiflora* Mill.), using RAPD and ISSR markers. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2007;43(5):653–659. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9535705>
29. Payel D., Mala P., Sunita S. Inter-genus variation analysis in few members of Cucurbitaceae based on ISSR markers. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2015;29(5):882–886. DOI: <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1052760>
30. Chesnokov Yu. V., Artemeva A. M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2015;50(5):571–578. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2015.5.571rus>
31. Van de Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Bioinformatics*. 1994;10(5):569–570. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/10.5.569>
32. Akash M., Awad N., Kasrawi M. Genetic diversity among snake melon landraces (*Cucumis Melo* Var. *Flexuosus*) using molecular descriptors. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*. 2020;154(2):206–212. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1587536>
33. Pratami M. P., Chikmawati T., Rugayah. Genetic diversity of *Cucumis* and *Mukia* (Cucurbitaceae) based on ISSR markers. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2020;52(2):127–143. URL: <https://sabrajournal.org/wp-content/uploads/2020/06/SABRAO-J-Breed-Genet-522-127-143Pratami.pdf>
34. Nei M., Li W. H. Mathematical Model for Studying Genetic Variation in Terms of Restriction Endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1979;76(10):5269–5273. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.76.10.5269>
35. Timofeev M. A., Shatilina Zh. M., Bedulina D. S., Protopopova M. V., Grabel'nykh O. I., Pobezhimova T. P., Kolesnichenko A. V. Comparison of stress proteins participation in adaptation mechanisms of Baikalian and palearctic amphipod species. *Zhurnal stress-fiziologii i biokhimii* = Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2006;2(1):41–50. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11715841>

Сведения об авторах

✉ **Мусихин Сергей Александрович**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация, ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Российская Федерация, 426067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-7839>, e-mail: musihin.sergei87@yandex.ru

Зорин Денис Александрович, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация, ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9489-708X>

Худякова Анна Валерьевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация, ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Российская Федерация, 426067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0125-9335>

Information about the authors

✉ **Sergey A. Musikhin**, PhD in Agricultural Science, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Tatyana Baramzina, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-7839>, e-mail: musihin.sergei87@yandex.ru

Denis A. Zorin, PhD in Biological Science, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Tatyana Baramzina, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9489-708X>

Anna V. Khudyakova, PhD in Biological Science, researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Tatyana Baramzina, 34, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0125-9335>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Комплексная оценка элитных форм черной смородины уральской на пригодность к механизированной уборке урожая

© 2024. Е. М. Чеботок✉

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация

В условиях Свердловской области (Средний Урал) проведена комплексная оценка элитных форм черной смородины для выявления пригодных к механизированной уборке урожая при интенсивных технологиях возделывания. Объектами исследований являлись 12 элитных форм черной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства (посадка 2018 г, схема размещения 3×1 м). Исследования проводили в 2021–2023 гг. согласно общепринятым методикам. Выделили элитные формы по высоте куста 3-2-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 2-11-05-08 – 100...110 см; ширине куста – 3-1-05-08, 3-5-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08 – 110...120 см. Диаметр основания куста у большинства сортов составил 20...30 см. Количество ползлых веток у всех форм менее 5 %, диаметр ветвей 8...15 мм. Средняя масса ягод – 1,5...1,8 г у элитных форм 2-11-05-08, 3-5-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-2-05-08. Усилие раздавливания ягод у изученных сортов составило 201...367 г. По усилию отрыва ягод выделили элитные формы 3-5-05-08, 4-5-05-08, 5-4-05-08 – 50...57 г. По результатам оценки пригодности для механизированной уборки урожая, оптимальными значениями по всем параметрам обладает элитная форма черной смородины 3-5-05-08. Элитные формы 2-11-05-08, 3-1-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-4-05-08 подлежат испытанию в производственных условиях. Не подходят для механизированной уборки урожая сорта: 3-4-05-08, 4-5-05-08, 5-1-05-08, 5-3-05-08. В условиях 2023 г. устойчивостью к грибным заболеваниям характеризовались элитные формы 4-5-05-08, 5-1-05-08.

Ключевые слова: сорта, хозяйственно ценные признаки, комбайновая уборка, лимитирующие признаки, нелимитирующие признаки, устойчивость к болезням, Средний Урал

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 0532-2023-0003).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чеботок Е. М. Комплексная оценка элитных форм черной смородины уральской селекции на пригодность к механизированной уборке урожая. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):616–622.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.616-622>

Поступила: 24.04.2024

Принята к публикации: 22.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Comprehensive assessment of elite forms of black currant of the Ural selection for suitability to mechanized harvesting

© 2024. Elena M. Chebotok✉

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

In the conditions of the Sverdlovsk region (Middle Urals), a comprehensive assessment of elite forms of black currant was carried out to identify those suitable for mechanized harvesting with intensive cultivation technologies. The objects of research were 12 elite forms of black currant bred by the Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture (planting 2018, layout 3×1 m). The research was carried out in 2021–2023 according to generally accepted methods. The studies were carried out according to generally accepted methods. According to the height of the bush, elite forms 3-2-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 2-11-05-08 were distinguished – the measurement result was 100...110 cm; by the width of the bush – 3-1-05-08, 3-5-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08 – 110...120 cm. The diameter of the base of the bush for most variety samples was 20.. 30 cm. The number of bent branches in all forms was less than 5 %, the diameter of the branches 8...15 mm. The average weight of berries was 1.5...1.8 g for elite forms 2-11-05-08, 3-5-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-2-05-08. The crushing force of berries in the studied variety samples was 201...367 g. Based on the force of berry separation, elite forms 3-5-05-08, 4-5-05-08, 5-4-05-08 stood out – 50...57 g. According to the results of the assessment of suitability for mechanized harvesting, the elite form of black currant 3-5-05-08 has optimal values in all parameters. Elite forms 2-11-05-08, 3-1-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-4-05-08 are subjected to testing under production conditions. The following variety samples are not suitable for mechanized harvesting: 3-4-05-08, 4-5-05-08, 5-1-05-08, 5-3-05-08. In the conditions of 2023, elite forms 4-5-05-08, 5-1-05-08 were characterized by resistance to fungal diseases.

Key words: variety samples, economically valuable traits, combine harvesting, limiting traits, non-limiting traits, disease resistance, Middle Urals

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre (theme No. 0532-2023-0003). The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Chebotok E. M. Comprehensive assessment of elite forms of black currant of the Ural selection for suitability to mechanized harvesting. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):616–622. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.616-622>

Received: 24.04.2024

Accepted for publication: 22.07.2024

Published online: 28.08.2024

Наиболее эффективный период эксплуатации плантации черной смородины составляет в среднем до двадцати лет, по ряду причин необходимо обновление сортимента и формирование стратегических задач селекции культуры для конкретного региона [1, 2, 3]. Рост производственных площадей под черной смородиной на Среднем Урале вызвал потребность создания технологичных сортов. В селекционной работе при отборе сортообразцов берется во внимание максимальное сочетание высокой адаптивности к условиям выращивания, основных хозяйственно ценных признаков, а также параметров, определяющих пригодность к механизированной уборке урожая [4, 5, 6]. К числу таких показателей относятся: высота и ширина куста; диаметр основания куста; количество основных веток; отсутствие полеглых веток; величина угла между крайними ветвями и поверхностью почвы; диаметр ветвей у основания куста (нелимитирующие признаки) [7, 8, 9]; усилие раздавливания и отрыва ягод (лимитирующие) [10, 11, 12].

В связи с тем, что при механизированной уборке урожая усиливается вредоносность болезней, устойчивость сорта к патогенам имеет важнейшее значение при отборе [13].

Цель исследований – выявить элитные формы черной смородины, пригодные к механизированной уборке урожая при интенсивных технологиях возделывания в условиях Среднего Урала.

Научная новизна – впервые в условиях Среднего Урала проведена комплексная оценка элитных форм черной смородины уральской селекции на пригодность к механизированной уборке урожая.

Материал и методы. Объекты исследований – 12 элитных форм черной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Исследования выполнены в отделе

селекции и сортоизучения плодовых и ягодных культур Свердловской ССР – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНЦ УрО РАН на коллекционных насаждениях черной смородины посадки 2018 года. Схема посадки 3×1 м. Участок на богаре. Почва участков – дерново-слабо-неглубокоподзолистая среднедерновая, слабо-мелкокаменистая, среднесуглинистая, среднекислая (рН_{кол.} – 5,1–5,5), окультуренная.

Исследования проводили согласно общепринятой методике по сортоизучению¹, методике оценки и подбора сортов черной смородины для машинной уборки урожая, разработанной ФГБНУ ФНЦ им. И. В. Мичурина². Оценка сортов по нелимитирующим признакам по методике определяется в 4-5-летнем возрасте [12, 14, 15], нами проведена на 5-летних растениях в 2023 г. Среднюю массу ягод черной смородины определяли с 2021 по 2023 год. Измерения усилий отрыва и раздавливания ягод выполняли с помощью приборов «Дина» и «Плодтест» (ФГБУН СФНЦА РАН, Новосибирск) в 2022 и 2023 гг. Учеты и измерения проводили на делянках по 10 растений каждого сортообразца.

Устойчивости к болезням оценивали в питомнике на молодых растениях элитных форм в 2023 году (по 10 растениям) по методике сортоизучения³.

Математическую обработку данных осуществляли методом статистической характеристики количественной изменчивости, в соответствии с методикой полевого опыта⁴.

В годы исследований на рост, развитие растений смородины и качество ягод повлияли погодные условия: зимние периоды 2020–2023 гг. в целом были благоприятными для успешной перезимовки черной смородины на Среднем Урале, в январе 2023 года отмечен минимум температуры воздуха -28,8 °С. Начало вегетации

¹Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Под общ. ред. Е. Н. Седова и Т. П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.

²Якименко О. Ф., Новопокровский В. С. Оценка и подбор сортов черной смородины для машинной уборки урожая: методические рекомендации. Мичуринск, 1988. 16 с.

³Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

черной смородины в 2021, 2022 гг. проходило в обычные по среднесезонным данным сроки, в 2023 г. – на 2 недели раньше. В мае 2023 г. зафиксирован продолжительный заморозок до -5 °С. В 2021 и 2023 гг. было жаркое сухое лето; в 2022 г. май и июнь характеризовались холодной и дождливой погодой; июль и август – засушливой и жаркой. Осенние периоды в годы исследований выдались более теплыми и сухими в сравнении со среднесезонными данными.

Результаты и их обсуждение. В 2023 году на элитных сеянцах селекции Свердловской селекционной станции садоводства, выделившихся ранее по урожайности (6,00...7,67 т/га), провели биометрические учеты и измерения показателей, характеризующих пригодность сортообразцов к механизированной уборке урожая (табл. 1, 2).

По высоте куста выделили элитные формы 3-2-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 2-11-05-08

– 100...110 см, но модели сорта по данному показателю соответствует только сортообразец 3-5-05-08. По ширине куста модельным параметрам соразмерны элитные формы 3-1-05-08, 3-5-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08 – 110...120 см, у остальных форм ширина куста составила 50...100 см. Диаметр основания куста не соответствует заданному только у сортообразцов 4-5-05-08 и 5-3-05-08 (18 и 16 см), у остальных – 20...30 см, что отвечает требованиям. Количество полеглых веток у всех форм составляет менее 5%, диаметр ветвей – 8...15 мм, что отвечает требуемым параметрам. Угол отхождения ветвей не соответствует модели только у сортообразца 4-5-05-08, у которого он больше необходимого – 60...70°, тогда как оптимальным для механизированной уборки урожая является 20...60°. По всем нелимитирующим признакам соответствует модели сорта элитная форма смородины черной 3-5-05-08.

Таблица 1 – Оценка элитных форм черной смородины по нелимитирующим признакам на пригодность к механизированной уборке урожая (2023 г.) /

Table 1 – Evaluation of elite forms of black currant according to non-limiting characteristics for suitability for mechanized harvesting (2023)

| Сортообразец / Variety sample | Высота куста, см / Bush height, cm | Ширина куста, см / Bush width, cm | Диаметр основания куста, см / Bush base diameter, cm | Количество веток, шт. / Number of branches, pieces | | Угол отхождения ветвей, град. / Branch angle, degree | Диаметр ветвей, мм / Branch diameter, mm |
|----------------------------------|---|--|--|---|--------------------|--|---|
| | | | | основных / main ones | полеглых / bent | | |
| Модель сорта / Cultivar model | 110...180 | 110...150 | 20...30 | до 20 | < 5% | 20...60 | 8...20 |
| 2-11-05-08 | 88 | 104 | 20 | 12 | 0 | 45...50 | 10...15 |
| 3-1-05-08 | 84 | 110 | 26 | 14 | 0 | 60 | 8...14 |
| 3-4-05-08 | 75 | 95 | 24 | 11 | 0 | 45 | 8...15 |
| 3-5-05-08 | 110 | 115 | 25 | 10 | 0 | 45 | 8...15 |
| 3-8-05-08 | 100 | 110 | 20 | 11 | 0 | 45 | 8...15 |
| 4-5-05-08 | 80 | 72 | 18 | 10 | 0 | 60...70 | 8...14 |
| 4-6-05-08 | 95 | 103 | 26 | 13 | 0 | 60 | 9...12 |
| 4-7-05-08 | 98 | 95 | 26 | 10 | 0 | 60 | 8...15 |
| 5-1-05-08 | 80 | 80 | 22 | 8 | 0 | 45...60 | 8...15 |
| 5-2-05-08 | 100 | 120 | 30 | 15 | 1 | 40 | 8...13 |
| 5-3-05-08 | 60 | 50 | 16 | 6 | 0 | 45 | 8 |
| 5-4-05-08 | 84 | 100 | 23 | 11 | 0 | 45 | 8...13 |

Примечание: жирным шрифтом выделены результаты учетов и измерений, которые входят в рамки рекомендуемых величин (соответствуют модели сорта) /

Note: the results of accounting and measurements that are within the recommended values are highlighted in bold (corresponding to the cultivar model)

Таблица 2 – Оценка элитных форм черной смородины по массе ягод (в среднем за 2021–2023 гг.) и лимитирующим признакам (в среднем за 2022–2023 гг.) на пригодность к механизированной уборке урожая /
Table 2 – Evaluation of elite forms of black currant by berry weight (average for 2021–2023 гг.) and limiting characteristics (average for 2022–2023 гг.) for suitability for mechanized harvesting

| Сортообразец / Variety sample | Масса ягоды, г / Mass of berries, g m_{mid}/m_{max} | Коэффициент вариации, m_{mid} , % / Coefficient of variation, m_{mid} , % | Усилие раздавливания ягод, г / Berry crushing force, g | Усилие отрыва ягод, г / Berry separa- tion force, g |
|----------------------------------|---|---|--|---|
| Модель сорта / Cultivar model | $m_{mid} = 1,5$ г и более / 1,5 g and more | 0...20 | > 200 | 50...150 |
| 2-11-05-08 | 1,8/4,0 | 10,8 | 340 | 26 |
| 3-1-05-08 | 1,2/3,0 | 35,3 | 244 | 43 |
| 3-4-05-08 | 1,0/2,0 | 36,4 | 310 | 38 |
| 3-5-05-08 | 1,5/4,0 | 12,8 | 338 | 57 |
| 3-8-05-08 | 0,9/3,0 | 0,0 | 367 | 43 |
| 4-5-05-08 | 1,2/3,0 | 12,8 | 327 | 50 |
| 4-6-05-08 | 1,5/3,0 | 12,8 | 243 | 33 |
| 4-7-05-08 | 1,5/4,0 | 22,9 | 345 | 38 |
| 5-1-05-08 | 1,2/3,0 | 15,7 | 316 | 35 |
| 5-2-05-08 | 1,7/5,0 | 4,0 | 321 | 33 |
| 5-3-05-08 | 1,3/2,0 | 22,8 | 263 | 39 |
| 5-4-05-08 | 0,9/3,0 | 40,4 | 201 | 51 |

Примечание: жирным шрифтом выделены результаты измерений и расчетов, которые входят в рамки рекомендуемых величин (соответствуют модели сорта) /

Note: the results of measurements and calculations that fall within the recommended values are highlighted in bold (correspond to the cultivar model)

Средняя масса ягод по требованиям должна составлять 1,5 г и более, элитные формы 2-11-05-08, 3-5-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-2-05-08 соответствуют данному значению (m_{mid} – 1,5...1,8 г). Наиболее крупные ягоды (m_{max}) отмечены у сортообразцов: 5-2-05-08 – 5,0 г; 2-11-05-08, 4-7-05-08, 3-5-05-08 – 4,0 г. Средняя масса ягод варьировала по годам в зависимости от сложившихся погодных условий. Наиболее сильно (значительная изменчивость) это проявилось у сортообразцов 5-3-05-08, 4-7-05-08, 3-1-05-08, 3-4-05-08, 5-4-05-08 – коэффициент вариации от 22,8 до 40,4 %. Стабильная по годам средняя масса ягод выявлена у сортообразцов 3-8-05-08, 5-2-05-08, 2-11-05-08, 3-5-05-08, 4-5-05-08, 4-6-05-08, 5-1-05-08 – коэффициент вариации от 0,0 до 15,7 %, причем у элитной формы 5-2-05-08 – стабильно высокая.

В среднем за 2 года измерений усилии раздавливания ягод у всех сортообразцов более 200 г (201...367 г), что отвечает требуемым параметрам. В 2023 г. на показатель «отрыв ягод» повлияла жара и засуха. Усилие отрыва было меньше у всех сортообразцов и, в среднем за два года, только у трех элитных форм – 3-5-05-08, 4-5-05-08, 5-4-05-08 соответствовало нужной величине (50...57 г), в 2022 г. бо́льшая

часть сортообразцов подходила по этому параметру. По всем лимитирующим признакам, в сочетании со средней массой ягод, только элитная форма черной смородины 3-5-05-08 соответствовала модели сорта.

По результатам оценки пригодности для механизированной уборки урожая, оптимальными значениями по всем параметрам обладал сортообразец – 3-5-05-08 (рис. 1, 2).

Надо отметить, что опытный участок содержится без полива и подкормок, а в последние годы наблюдается засуха. В условиях промышленного использования насаждений черной смородины, при соответствующей агротехнике, габитус кустов увеличится. Поэтому сортообразцы 2-11-05-08 (рис. 3), 3-1-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-4-05-08 также подлежат испытанию в производственных условиях при интенсивных способах возделывания.

Не подходят для механизированной уборки урожая сортообразцы: 3-4-05-08, 4-5-05-08, 5-1-05-08, 5-3-05-08.

На Среднем Урале грибные заболевания в полевых условиях развиваются уже после сбора урожая и особо не влияют на урожайность, но на молодых растениях, в питомнике, проявляются иногда в значительной степени.

В связи с тем, что при интенсивной технологии возделывания, в том числе и механизированной уборке урожая, повреждающая механическая нагрузка на растения увеличивается, повышается и патогенная нагрузка. Поэтому на молодых

растениях изучаемых сортообразцов проведены учеты по повреждениям болезнями, которые потенциально могут проявиться и на взрослых растениях в условиях промышленного возделывания (табл. 3).



*Рис. 1. Элитная форма черной смородины 3-5-05-08 /
Fig. 1. Elite form of black currant 3-5-05-08*



*Рис. 2. Делянка с элитной формой черной смородины 3-5-05-08 в период сбора урожая /
Fig. 2. Plot with elite form of black currant 3-5-05-08 during the harvest period*



*Рис. 3. Элитная форма черной смородины 2-11-05-08 /
Fig. 3. Elite form of black currant 2-11-05-08*

*Таблица 3 – Оценка элитных форм черной смородины на устойчивость к болезням, балл поражений (2023 г.) /
Table 3 – Evaluation of elite forms of black currant for disease resistance, points (2023)*

| <i>Сортообразец / Variety sample</i> | <i>Септориоз / Septoria</i> | <i>Ржавчина / Rust</i> | <i>Мучнистая роса / Powdery mildew</i> |
|--|-----------------------------|------------------------|--|
| 2-11-05-08 | 0 | 2 | 0 |
| 3-1-05-08 | 1 | 0 | 0 |
| 3-4-05-08 | 0 | 1 | 0 |
| 3-5-05-08 | 2 | 0 | 0 |
| 3-8-05-08 | 2 | 0 | 0 |
| 4-5-05-08 | 0 | 0 | 0 |
| 4-6-05-08 | 0 | 3 | 0 |
| 4-7-05-08 | 0 | 2 | 2 |
| 5-1-05-08 | 0 | 0 | 0 |
| 5-2-05-08 | 2 | 0 | 0 |
| 5-3-05-08 | 1 | 0 | 0 |
| 5-4-05-08 | 2 | 2 | 0 |

Септориозом поразились сортообразцы 3-1-05-08, 3-5-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 5-3-05-08, 5-4-05-08 (до 2,0 баллов), ржавчиной – элитные формы 4-6-05-08 (3,0 балла), 2-11-05-08, 4-7-05-08, 5-4-05-08 (2,0 балла), 3-4-05-08 (1,0 балл). Мучнистой росой поразились сортообразцы 4-7-05-08 (2,0 балла). Наибольшее количество патогенов обнаружено на листьях у сортообразцов 4-7-05-08, 5-4-05-08. Не выявлено поражений грибными болезнями у элитных форм 4-5-05-08, 5-1-05-08.

Поражение болезнями до 2,0 баллов считается незначительным. Но в производственных условиях выращивания изученных сортообразцов, при увеличении степени поражения, возможно применение средств защиты растений.

Выводы. По результатам комплексной оценки элитных форм черной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства на пригодность к механизированной уборке урожая, оптимальными значениями по всем параметрам обладает элитная форма черной смородины 3-5-05-08. В производственных условиях элитные формы 2-11-05-08, 3-1-05-08, 3-8-05-08, 5-2-05-08, 4-6-05-08, 4-7-05-08, 5-4-05-08 подлежат испытанию. Для механизированной уборки урожая сортообразцы: 3-4-05-08, 4-5-05-08, 5-1-05-08, 5-3-05-08 не подходят. В условиях 2023 г. элитные формы 4-5-05-08, 5-1-05-08 характеризовались устойчивостью к грибным заболеваниям.

Список литературы

1. Куликов И. М., Евдокименко С. Н., Тумаева Т. А., Келина А. В., Сазонов Ф. Ф., Андропова Н. В., Подгаецкий М. А. Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):414–419. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.046> EDN: ASGGAN
2. Сазонов Ф. Ф. Оценка интродуцированных сортов смородины черной для использования в производстве и селекции. Садоводство и виноградарство. 2022;(4):16–26. DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-4-16-26> EDN: NISRYU
3. Таранов А. А., Полубято И. Г., Фролова Л. В. Источники хозяйственно ценных признаков плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда в РУП «Институт плодородия» (Беларусь). Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022;(6):149–161. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-6-78-149-161> EDN: EWKZPY
4. Чеботок Е. М. Итоги сортоизучения коллекции смородины черной на Среднем Урале. Плодоводство и ягодоводство России. 2020;60(1):136–143. DOI: <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-136-143> EDN: BOICUY
5. Салтыкова Т. И., Вахрушева Н. С., Софронов А. П. Предварительная оценка сортов смородины черной на пригодность к механизированной уборке в условиях Северо-Востока Европейской части России. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VIII Междунар. научн.-практ. конф. Киров: ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», 2022. С. 90–93. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49397440> EDN: PCJCT
6. Сироткина Е. Н. Влияние абиотических факторов на сроки созревания сортов черной смородины в условиях Орловской области. Научный журнал молодых ученых. 2021;(2):38–44. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46230623> EDN: PAGRSF
7. Данышина О. В. Селекционная оценка сортов и форм черной смородины по ширине основания в связи с механизированной уборкой урожая. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат-лы XVI Междунар. научн. конф. Кирилово: Брянский ГАУ, 2019. С. 599–603. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41120198> EDN: AJKGFK
8. Якименко О. Ф. Производство ягод черной смородины на индустриальной основе. Садоводство и виноградарство. 2001;(3):21–24. Режим доступа: <http://asprus.ru/blog/proizvodstvo-yagod-chnoj-smorodiny-na-industrialnoj-osnove/>
9. Зазулин А. Г., Фролова Л. В., Платонова А. Р. Оценка сортов смородины черной в качестве исходного материала для селекции. Плодоводство. 2019;31:126–133. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46452876> EDN: NFCIKP
10. Шавыркина М. А., Товарническая М. В., Князев С. Д. Оценка сортов черной смородины селекции ВНИИСПК на пригодность к механизированной уборке урожая. Современное садоводство. 2015;(4):22–25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25024501> EDN: SYWCLG
11. Панфилова О. В. О технологии возделывания ягодных культур, пригодных для механизированной уборки. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018;(5):85–90. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/5/85-90> EDN: YLERAL
12. Краюшкина Н. С., Егорова К. И. Формирование сортимента смородины черной для регионально-адаптивной машинной технологии производства ягод. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018;(96):145–155. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-100568> EDN: YNRYST
13. Суслина И. В. Экологически безопасные методы защиты смородины черной от вредителей и болезней. Современное состояние культур смородины и крыжовника: сб. науч. тр. Мичуринск: ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина, 2007. С. 298–311. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26359508> EDN: WEVLON
14. Якименко О. Ф. Индустриальная технология производства черной смородины. Пути повышения устойчивости садоводства: сб. науч. тр. Мичуринск: ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина, 1998. С. 170–172.

15. Якименко О. Ф., Суслина И. В. Ресурсосберегающая технология возделывания смородины черной. Научные основы эффективного садоводства: тр. ВНИИС им. И. В. Мичурина. 75 лет со дня основания. Воронеж: изд-во Кварта, 2006. С. 284–298.

References

1. Kulikov I. M., Evdokimenko S. N., Tumaeva T. A., Kelina A. V., Sazonov F. F., Andronova N. V., Podgaetskiy M. A. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):414–419. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.046>
2. Sazonov F. F. Evaluation of introduced blackcurrant varieties for production and breeding. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2022;(4):16–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-4-16-26>
3. Taranov A. A., Polubyatko I. G., Frolova L. V. Sources of economically valuable characteristics of fruit, small fruit crops, nut-fruited crops and grapes in RUE "Institute for fruit growing" (Belarus). *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* = Fruit growing and viticulture of South Russia. 2022;(6):149–161. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-6-78-149-161>
4. Chebotok E. M. Results of variety study of black currant collection in the Middle Urals. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2020;60(1):136–143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-136-143>
5. Saltykova T. I., Vakhrusheva N. S., Sofronov A. P. The preliminary assessment of black currant varieties on acceptability for mechanical harvesting in conditions of the North-East of European part of Russia. Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. Kirov: FGBNU «FANTs Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo», 2022. pp. 90–93. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49397440>
6. Sirotkina E. N. The influence of abiotic factors on the maturation period of blackcurrant cultivars in the conditions of the Orel region. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*. 2021;(2):38–44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46230623>
7. Danshina O. V. Breeding and evaluation of varieties and forms of black currant across the width of the foundation in connection with mechanized harvesting. Agroecological aspects of sustainable development of agro-industrial complex: Proceedings of the XVI International Scientific Conference. Kokino: Bryanskiy GAU, 2019. pp. 599–603. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41120198>
8. Yakimenko O. F. Production of black currant berries on an industrial basis. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2001;(3):21–24. (In Russ.). URL: <http://asprus.ru/blog/proizvodstvo-yagod-chnoy-smorodiny-na-industrialnoj-osnove/>
9. Zazulin A. G., Frolova L. V., Platonova A. R. Assessment of black currant varieties as the parent material for breeding. *Plodovodstvo*. 2019;31:126–133. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46452876>
10. Shavyrkina M. A., Tovarnitskaya M. V., Knyazev S. D. Evaluation of black currant varieties of VNIISPK breeding for suitability for mechanized harvesting. *Sovremennoe sadovodstvo* = Contemporary horticulture. 2015;(4):22–25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25024501>
11. Panfilova O. V. On cultivation technology of berry crops suitable for mechanized harvesting. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2018;(5):85–90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/5/85-90>
12. Krayushkina N. S., Egorova K. I. Creation of black currant varieties range for regionally adaptive machine-based technology of berry production. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018;(96):145–155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-100568>
13. Suslina I. V. Environmentally friendly methods of protecting black currant from pests and diseases. The current state of currant and gooseberry crops: collection of scientific articles. Michurinsk: VNIi sadovodstva im. I. V. Michurina, 2007. pp. 298–311. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26359508>
14. Yakimenko O. F. Industrial technology of blackcurrant production. Ways to increase the sustainability of horticulture: collection of scientific articles. Michurinsk: VNIi sadovodstva im. I. V. Michurina, 1998. pp. 170–172.
15. Yakimenko O. F., Suslina I. V. Resource-saving technology of black currant cultivation. Scientific foundations of effective horticulture: I. V. Michurin VNIIS scientific articles. Seventy-five years since the foundation. Voronezh: izd-vo Kvarta, 2006. pp. 284–298.

Сведения об авторе

✉ Чеботок Елена Михайловна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>, e-mail: sadovodnauka@mail.ru

Information about the authors

✉ Elena M. Chebotok, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Belinskogo Street, g. 112a, Ekaterinburg, Russian Federation, 620076, e-mail: info@urfanic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>, e-mail: sadovodnauka@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Эффективность применения различных видов стимулирующих веществ для размножения клоновых подвоев семечковых культур в условиях аридной зоны

© 2024. Н. И. Матвеева✉

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация

Цель исследований – выявление эффективности применения различных стимулирующих веществ на хозяйственно биологические параметры растений клоновых подвоев яблони в условиях аридной зоны Северного Прикаспия (Астраханская область). Объекты – клоновые подвои яблони, привойные и подвойные комбинации. В маточнике вертикальных отводков изучали 10 селекционных форм подвоев селекции различных научных учреждений. Контролем являлись подвои серии М, которые широко распространены и адаптированы на юге России: М-9 – для карликовых; М-26 – для полукарликовых; ММ-106 – для среднерослых. В вертикальном маточнике изучали варианты листовых обработок препаратами Этамон Био и Аминовит (контроль – обработка водой). В среднем за 2021–2023 гг. некорневые обработки значительно способствовали высокому выходу подвоев первого сорта у форм 87-7-12 – 35,4 %; Урал 8 – 18,0 %; М-26 – 15,0 %; Урал 5 – 14,0 %; подвоя Малыш Будаговского – 20,3 % в варианте с обработкой Этамон Био. В варианте с обработкой Аминовит больше всего отводков первого сорта было получено у формы подвоя 87-7-12 – 36,3 %; Урал 8 – 19,5 %; Малыш Будаговского – 23,0 %. Внекорневые подкормки препаратами Этамон Био и Аминовит оказали положительное влияние на длину корневой системы, увеличение диаметра штамба и прирост высоты подвоев. В первом поле питомника сорта были привиты на различающиеся по силе роста подвои. Препаратами для изучения служили стимуляторы корнеобразования Циркон, Рибав Экстра и Корневин. В результате в сравнении с контролем приживаемость у всех подвоев, обработанных стимулятором корнеобразования Циркон, составила 100 %.

Ключевые слова: корнеобразование, привой, сорт, клоновый подвой, стимулятор роста, саженцы, продуктивность, приживаемость

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № FNMW-2022-0009).

Автор благодарит рецензентов за их вклад экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Матвеева Н. И. Эффективность применения различных видов стимулирующих веществ для размножения клоновых подвоев семечковых культур в условиях аридной зоны. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):623–633. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.623-633>

Поступила: 30.11.2023

Принята к публикации: 05.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The effectiveness of using various types of stimulating substances for the propagation of clonal rootstocks of pome crops in arid zone conditions

© 2024. Natalya I. Matveeva✉

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoye Zaimishche, Astrakhan region, Russian Federation

The purpose of the research is to identify the effectiveness of the use of various stimulating substances on the economic and biological parameters of plants of clonal apple rootstocks in the conditions of the arid zone of the Northern Caspian Sea (Astrakhan region). The objects were apple tree clonal rootstocks, scion and rootstock combinations. In the mother plantation of vertical layering, 10 breeding forms of rootstocks selected by various scientific institutions were studied. The control was the M series rootstocks, widely used and adapted in the south of Russia: M-9 for dwarf ones, M-26 for semi-dwarf ones, MM-106 for medium-sized ones. In a vertical mother plantation, there were studied variants for leaf treatments with Etamon Bio and Aminovit (control - treatment with water). Average for 2021–2023 foliar treatments significantly contributed to the high yield of first-grade rootstocks for rootstock forms 87-7-12 – 35.4 %; ‘Ural 8’ – 18.0 %; M-26 – 15.0 %; ‘Ural 5’ – 14.0 %; rootstock ‘Malysh Budagovskogo’ – 20.3 % in the variant with Etamon Bio treatment. In the variant with Aminovit treatment, the most number of first-grade layerings were obtained from the rootstock form 87-7-12 – 36.3 %; ‘Ural 8’ – 19.5 %; ‘Malysh Budagovskogo’ – 23.0 %. Foliar feeding with Etamon Bio and Aminovit had a positive effect on the length of the root system, an increase in the diameter of the trunk and an increase in the height of the rootstocks. In the first field of the nursery, the varieties were grafted onto rootstocks of varying vigor. The drugs for study were root formation stimulants Zircon; Ribav Extra; Kornevin. As a result, in comparison with the control, the survival rate of all rootstocks treated in the Zircon root formation stimulator was 100 %.

Keywords: root formation, scion, variety, clonal rootstock, growth stimulator, seedlings, productivity, survival rate

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FNMW-2022-0009).

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

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

For citations: Matveeva N. I. The effectiveness of using various types of stimulating substances for the propagation of clonal rootstocks of pome crops in arid zone conditions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):623–633. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.623-633>

Received: 30.11.2023

Accepted for publication: 05.07.2024

Published online: 28.08.2024

Современное садоводство основывается на интенсивных технологиях возделывания семечковых культур, фундаментом которых являются слаборослые, скороплодные подвои, способные окупить вложенные средства за счет раннего вступления в товарное плодоношение, получения высоких урожаев хорошего качества при меньших затратах [1, 2]. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг.¹ ставит важные цели обеспечения импортозамещения и повышения эффективности производства в сфере агропромышленного комплекса за счет разработки и внедрения отечественных инновационных технологий и достижений, повышения их конкурентоспособности, производства востребованного посадочного материала (виноградарство, питомниководство, садоводство (плодовые, ягодные культуры)).

За последние годы в Астраханской области было прекращено производство собственного качественного сортового посадочного материала плодовых культур, садоводы вынуждены его завозить со стороны либо покупать на рынках, где в настоящее время идет безудержная, бесконтрольная торговля сомнительным материалом местного и иногороднего производства. Саженцы зачастую плохо адаптированы к российским почвенно-климатическим условиям, не имеют необходимого иммунитета, и время их жизни ограничено. Такой беспорядочный завоз наносит ущерб не только садоводу-частнику, но и опасен для всего плодового хозяйства области. В региональный сортимент необходимо вводить адаптивные к зоне возделывания сорта, которые прошли производственное испытание в нестабильных погодных условиях. Это позволит снизить риски при их культивировании, а также усилить импортозамещение. С этой целью в Астраханской области активизировалась закладка интенсивных садов с использованием новых сортов семечковых культур на слаборослых клоновых подвоях. Важным является определение уровня устойчивости подвоев

к стрессовым воздействиям и выделение наиболее приспособленных.

Основные климатические особенности места проведения исследований – резкая континентальность, холодная малоснежная зима с частыми перепадами температуры, экстремально засушливое, жаркое лето, сопровождающееся постоянными суховеями. Сильно аридная полупустынная зона (коэффициент аридности 0,16–0,30). Крайне малое количество осадков в течение года (250–260 мм), испаряемость в 3–5 раз превышает количество выпавших осадков. Сумма активных температур – 3200–3400 °C² [3].

В практике отечественного и мирового питомниководства для производства высококачественного стандартного посадочного материала используются различные агроприемы. Существенное повышение качества саженцев можно достичь с помощью применения корневых и некорневых подкормок минеральными удобрениями, которые являются важным фактором роста и развития подвоев яблони, формирования урожая и качества плодов. Изучение эффективности применения некорневых подкормок в отдельных регионах России достаточно освещено в исследованиях ученых [4, 5, 6]. Однако в острозасушливой зоне садоводства Северного Прикаспия (Астраханская область) исследований по этой проблеме проводилось недостаточно [7, 8]. В частности, слабо исследованы вопросы адаптивного и продукционного потенциала клоновых подвоев семечковых культур при выращивании в аридных условиях, способов размножения подвоев семечковых культур с использованием различных минеральных удобрений и стимуляторов корнеобразования с целью получения высококачественного посадочного материала, обладающего комплексом хозяйственно значимых признаков для введения в промышленное и любительское садоводство Северного Прикаспия. В этой связи проведение данных исследований в сложных климатических условиях Астраханской области своевременно и актуально.

¹Постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. N 996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы».

URL: <https://base.garant.ru/71755402/> (дата обращения: 30.10.2023)

²Атлас Астраханской области. Сост. и подгот. к изданию Омской карт. ф.-кой Роскартографии. Гл. ред. В. А. Пятин. М: ФСГК, 1997. 48 с.

Цель исследований – определить эффективность применения различных видов стимулирующих веществ на хозяйственно биологические параметры растений клоновых подвоев яблони в условиях аридной зоны.

Научная новизна – впервые проведено изучение влияния применения стимуляторов корнеобразования Корневин, Рибав Экстра, Циркон на хозяйственно биологические параметры форм и селекционных образцов клоновых подвоев яблони с целью выделения наиболее адаптированных к аридным условиям Северного Прикаспия.

Материал и методы. Почвенный покров опытного участка в маточнике вертикальных отводков представлен светло-каштановыми карбонатными, мощными и среднемощными почвами с содержанием гумуса в пахотном горизонте 0–40 см – 1,02 %, легкогидролизуемого азота – 24,4 мг/кг почвы (по методу Тюрина и Кононовой)³, подвижного фосфора – 26,4 мг/кг почвы, обменного калия – 368 мг/кг почвы (по Чирикову)⁴. Грунтовые воды залегают ниже 3,5 м. Участок орошаемый.

В маточнике вертикальных отводков изучали следующие формы подвоев яблони:

- 5 – селекции ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Малыш Будаговского, 83-1-15, 76-3-6, 87-7-12, 71-7-22);

- 2 – селекции ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Урал 5, Урал 8),

- 1 – селекции NIAB EMR, Кент, Англия (Horticultural Research International (ранее – East Malling Research Station) (ММ-106),

- 2 – селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства и виноградарства» (СК2, СК3).

Контролем являлись подвой серии М, широко распространенные на юге России: М-9 – для карликовых; М-26 – для полукарликовых; ММ-106 – для среднерослых. Опыт – двухфакторный. Схема опыта: Фактор А – подвой. Фактор В – варианты листовых обработок: 1 – контроль (обработка водой); 2 – Этамон Био, ВПР; 3 – Аминовит.

Маточник вертикальных отводков. Схема посадки 1,4х0,5м. Учёты и наблюдения проводили на 10 подвоях каждой формы, повторность трехкратная.

На маточнике вертикальных отводков был заложен опыт по увеличению выхода стандартных отводков первого сорта за счет приме-

нения некорневых подкормок минеральными удобрениями. Для проведения исследования были взяты 9 форм выделившихся клоновых подвоев (Малыш Будаговского; 83-1-15; 76-3-6; М-26; 87-7-12; Урал 5; Урал 8; ММ-106; 71-7-22), различающихся по силе роста, двукратно обработанные в разные сроки вегетации комплексным удобрением Аминовит с микро- макроэлементами и регулятором роста Этамон Био, который, активируя процессы образования в клетках корневой системы легко усваиваемых форм азота и фосфора, способствует полноценному питанию вегетирующих растений.

Первая листовая обработка проведена 17 мая перед первым окучиванием при высоте отводков 25–30 см, вторая – 1 июня через 15 дней после первого окучивания.

В первом поле питомника сорта яблони были привиты на различающиеся по силе роста подвой: карликовые (М-9, 71-7-22, 83-1-15, 76-3-6, Малыш Будаговского); полукарликовые (М-26, Урал 5, Урал 8, 87-7-12, 62-396); среднерослые (ММ-106, 54-118). Всего 40 комбинаций. Проводили учет приживаемости подвоев, количества подошедших к окулировке и заокулированных подвоев. Опыт двухфакторный. Схема опыта: Фактор А – подвой. Фактор В – стимуляторы корнеобразования: 1 – контроль (обработка водой); 2 – Циркон, Р; 3 – Рибав Экстра, Р; 4 – Корневин, СП.

Изучение подвоев в I поле питомника. Высажены (по 30 отводков в трехкратной повторности) подвой М-9, 71-7-22, 83-1-15, 76-3-6, Малыш Будаговского, М-26, Урал 5, Урал 8, 87-7-12, 62-396, ММ-106, 54-118, которые были привиты сортами Айдаред, Ренет Симиренко и Прикубанское, всего 42 комбинации. Выбранные для прививки сорта в ходе многолетнего изучения были адаптированы к острозасушливым условиям Астраханской области, менее подвержены болезням, стабильно ежегодно плодоносили. Размещение растений – однорядное, расстояние между рядами – 0,7 м, в ряду между растениями – 0,2 м.

Весной 2021 года в первом поле питомника был заложен опыт по влиянию различных стимуляторов корнеобразования на приживаемость подвоев яблони. Высажено 14 форм подвоев, по 30 штук в каждом варианте, различающихся по силе роста. Подвой предварительно замачивали в стимуляторах корнеобразования: Корневин, СП; Рибав Экстра, Р; Циркон, Р (контроль – обработка водой).

³ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

⁴ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/28250/>

Характеристика препаратов для изучения.

Корневин – регулятор роста растений. Действующее вещество – 4(индол-3ил) масляная кислота, концентрация 5 г/кг – «фитогормон» для роста, поддержки и мобилизации защитных сил (иммунитета) растений. Корневин активизирует рост корневой системы, обеспечивает быструю приживаемость посадочного материала при высадке и пересадке растений, активизирует рост молодых корней.

Циркон – регулятор роста растений, иммуностимулятор. Действующее вещество – гидроксикоричная кислота, концентрация 0,1 г/л. Предназначен для активации роста растений, влияет на иммунные свойства растения, повышая устойчивость к заболеваниям, уменьшает стресс.

Рибав Экстра – регулятор роста растений, стимулятор корнеобразования. Действующее вещество – L-аланин + L-глутаминовая кислота (0,00152 + 0,00196 г/л). Обеспечивает высокую укореняемость зеленых и одревесневших черенков. Содержит природный комплекс биологически активных веществ, продуцируемый микоризными грибами, выделенными из корня

женьшеня: аминокислоты (цистин, гистидин, метионин, лизин, аспарагиновая кислота, серин, глицин, валин, лейцин и изолейцин), липиды, пептиды, ферменты, витамины (B2, B6, H, B12).

Аминовит – жидкое комплексное минеральное удобрение, предназначенное для внекорневой подкормки сельскохозяйственных культур на протяжении всего периода вегетации. Представляет собой сбалансированный набор макроэлементов, а также микроэлементы в хелатной форме. Способствует формированию более мощного эпикотилия, сужению временного периода всхожести, лучшей перезимовки, повышению общего иммунитета растения.

Этамон Био – регулятор роста растений, стимулятор корнеобразования, улучшает приживаемость растений. Действующее вещество: диметил фосфорнокислый (2-гидроксиэтил) аммоний, концентрация 10 г/кг.

Концентрации изучаемых препаратов и способы их применения на маточнике вертикальных отводков и в 1-ом поле питомника представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Концентрации и способы применения изучаемых препаратов /
Table 1 – Methods of application and consumption rates of the studied drugs

| Фаза развития растений / Plant development phase | Препарат / Drug | Концентрация препарата / Concentration of the drug | Способ применения / Method of application |
|---|--------------------------------------|---|--|
| Высота отводков 25–30 см (перед окучиванием) / Layer height 25–30 cm (before hilling) | Аминовит / Aminovit | 20 мл/10 л | Опрыскивание / Spraying |
| | Этамон Био, ВПР / Etamon Bio, VPR | 10 г/10 л | |
| Высота отводков 25–30 см (через 15 дней после 1-го окучивания) / Layer height 25–30cm (15 days after 1 hilling) | Аминовит / Aminovit | 20 мл/10 л | Опрыскивание / Spraying |
| | Этамон Био, ВПР / Etamon Bio, VPR | 10 г/10 л | |
| До распускания почек в 1-ом поле питомника / In the spring before buds open in 1 field of the nursery | Корневин, СП / Kornevin, SP | 1 г/10 л | Замачивание / Soaking |
| | Рибав Экстра, Р / Ribav Extra, R | 1 мл/10 л | |
| | Циркон, Р / Zircon, R | 1 мл/10 л | |

Хозяйственно биологическую оценку клоновых подвоев в маточнике вертикальных отводков проводили в соответствии с методическими рекомендациями⁵, учеты и наблю-

дения в маточниках и полях питомника – по методике ВНИИ селекции плодовых культур⁶; оценку качества подвоев и саженцев – по ГОСТ Р 53-135-2008⁷.

⁵Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве: информ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 508 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/e8f/uyvv929ptw08ef6fsmufq6c2jtpliq6.pdf>; Плодовые, ягодные культуры и технология их возделывания: под общ. ред. В. И. Якушева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1988. С.143–148.

⁶Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур: под общ. ред. акад. РАСХН Е. Н. Седова, д.с.-х.н. Т. П. Огольцовой. Орел: Всероссийский НИИСПК, 1999. 606 с.

⁷ГОСТ Р 53-135-2008. Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 45 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/479/47900.pdf>

Влажность метрового слоя почвы определяли термостатно-весовым методом⁸. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁹ с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. Определение уровня влажности в почве позволяет контролировать и поддерживать оптимальные условия для роста растений [9, 10]. Отбор почвенных проб в плодовом саду проводили ежегодно с апреля по сентябрь. Анализ влажности

почвы под насаждениями клоновых подвоев показал, что запас влаги в метровом слое почвы был максимальным в апреле. Это объясняется наличием влаги после зимних осадков, которая составляла в почве маточника вертикальных отводков до 87,8 % НВ, в I поле питомника – 81,4 % (апрель), 87,2 % (май) за счет выпавших осадков (62,1 мм) (табл. 2). На паровой площадке в течение вегетации с повышением температуры воздуха влажность почвы существенно снижалась с 78,8 до 32,1 % НВ.

Таблица 2 – Влажность метрового слоя почвы опытных участков (среднее 2021–2023 гг.) /
Table 2 – Moisture content of a meter layer of soil in experimental plots (average for 2021–2023)

| Месяц / Month | Пар / Fallow | | Маточник / Mother plantation | | I поле питомника / I nursery field | |
|----------------------|--------------|--|------------------------------|--|------------------------------------|--|
| | НВ*, % | запас влаги, м ³ /га / moisture reserve, m ³ /ha | НВ, % | запас влаги, м ³ /га / moisture reserve, m ³ /ha | НВ, % | запас влаги, м ³ /га / moisture reserve, m ³ /ha |
| Апрель / April | 78,8 | 2075,2 | 87,8 | 2327,1 | 81,4 | 2139,6 |
| Май / May | 74,6 | 938,6 | 81,5 | 1852,3 | 87,2 | 1772,1 |
| Июнь / June | 68,4 | 861,78 | 76,1 | 2002,4 | 74,7 | 1717,6 |
| Июль / July | 40,1 | 1070,0 | 56,2 | 1496,71 | 69,1 | 1839,1 |
| Август / August | 41,4 | 532,8 | 77,3 | 2015,2 | 73,8 | 1910,7 |
| Сентябрь / September | 32,1 | 886,7 | 75,6 | 1939,51 | 70,6 | 1859,4 |

* Наименьшая влагоемкость / * Lowest moisture capacity

В течение вегетации влажность метрового слоя под насаждениями клоновых подвоев была достаточно стабильной. Наибольшую потребность в воде растения испытывают в период активного роста [9, 10]. В начале ноября проводили влагозарядковый полив из расчета 1000 м³/га для запаса достаточного количества влаги до следующего вегетационного периода.

В среднем за годы изучения (2021–2023) начало отрастания кустов в маточнике вертикальных отводков происходило с 11 по 18 апреля. Самое раннее отрастание отмечено у среднерослого подвоя 54-118, самое позднее – у большинства полукарликовых и карликового подвоя 76-3-6.

Окончание верхушечного роста из 14 изучаемых подвоев наступило только у 6: СКЗ, 8-1-15, 62-396, Урал 5, 76-3-6, Малыш Будаговского. У остальных подвоев на середину октября рост отводков не завершился.

Наблюдения, проведенные в течение всего периода вегетации, не выявили поражения подвоев паршой (табл. 3).

В 2021 году приживаемость подвоев селекции ФГБНУ ФНИЦ Садоводства была низкой. В зависимости от подвоя она составила от 10,0 до 65,0 %, поэтому весной следующего года производили ремонт (подсадка) данных подвоев. Приживаемость в среднем по подвоям составляла 13,3–86,7 %.

Побегообразовательная способность подвоев была различной: в группе карликовых подвоев составила 0,4–9,6 шт/куст (рис. 1); полукарликовых – 3,2–9,8 шт/куст (рис. 2); среднерослых – 8,7–11,1 шт/куст (рис. 3). Более продуктивными выделились карликовый подвой Малыш Будаговского (9,6 шт/куст), полукарликовые 87-7-12 (9,8 шт/куст), Урал 8 (8,0 шт/куст), Урал 5 (8,2 шт/куст) и среднерослые 54-118 и ММ-106, у которого продуктивность была выше всех подвоев и в среднем составила 11,1 шт/куст.

⁸ГОСТ 28268–89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. М.: Стандартинформ, 2006. 8 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/798/4294826517.pdf>

⁹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) 6-е изд. перепеч. с 5-го изд. М.: Альянс. 2011. 350 с.

Таблица 3 – Характеристика вегетативно-размножающихся подвоев яблони по хозяйственно-биологическим показателям (среднее 2021–2023 гг.) /

Table 3 – Characteristics of vegetatively propagated rootstocks of apple trees according to economic and biological indicators (average for 2021–2023)

| <i>Подвой / Rootstock</i> | <i>Начало отрас- тания маточных кустов / The begin- ning of the regrowth of mother bushes</i> | <i>Поражаемость подвоев паршой, балл / Scab dam- age of rootstocks, points</i> | <i>Степень вызре- вания отводков, балл / Degree of maturation of layerings, points</i> | <i>Окончание верхушечного роста / End of apical growth</i> |
|---|---|--|--|--|
| Карликовые / Dwarf | | | | |
| М-9 (контроль / control) | 17.04 | 0 | 4 | Не окончен / Not finished |
| СК 3 | 14.04 | 0 | 4 | 12.10 |
| 83-1-15 | 17.04 | 0 | 4 | 12.10 |
| 76-3-6 | 18.04 | 0 | 4 | 12.10 |
| Малыш Будаговского / 'Malysh Budagovskogo' | 17.04 | 0 | 4 | 12.10 |
| 71-7-22 | 14.04 | 0 | 4 | Не окончен / Not finished |
| Полукарликовые / Semi-dwarf | | | | |
| М-26 (контроль / control) | 18.04 | 0 | 4 | Не окончен / Not finished |
| СК 2 | 17.04 | 0 | 4 | |
| 62-396 | 18.04 | 0 | 4 | 12.10 |
| Урал 8 / 'Ural 8' | 18.04 | 0 | 4 | Не окончен / Not finished |
| 87-7-12 | 18.04 | 0 | 4 | |
| Урал 5 / 'Ural 5' | 18.04 | 0 | 4 | 12.10 |
| Среднерослые / Medium height | | | | |
| ММ-106 (контроль / control) | 18.04 | 0 | 4 | Не окончен / Not finished |
| 54-118 | 11.04 | 0 | 4 | |

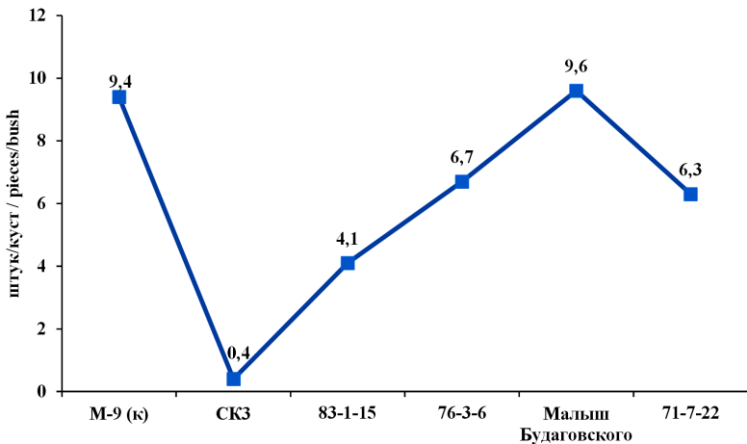


Рис. 1. Продуктивность карликовых подвоев яблони в маточнике вертикальных отводков, шт/куст (среднее за 2021–2023 гг.) /

Fig. 1. Productivity of dwarf rootstocks of apple trees in the mother plantation of vertical layerings, pcs/bush (average for 2021–2023)

В маточнике вертикальных отводков был заложен опыт по увеличению выхода стандартных отводков первого сорта за счет применения некорневых подкормок минеральными удобрениями. Для проведения исследования взяли 9 выделившихся форм клоновых подвоев, различающихся по силе роста. По результатам исследования установлено, что листовые обработки регулятором роста Этамон Био и удобрением Аминовит повлияли на увеличение высоты

отводков. Некорневые обработки способствовали увеличению высоты подвоев, длины корневой системы, выходу подвоев первого и второго сорта (табл. 4).

В варианте с обработкой препаратом Этамон Био выделились по приросту высоты к контролю: полукарликовые подвой Урал 8 – 115,4 см (+39,8 см) и Урал 5 – 106,8 см (+20,2 см); карликовые формы 71-7-22 – 107,0 см (+11,4 см) и 83-1-15 – 88,0 см (+5,2 см) при НСР₀₅ = 3,8 см.

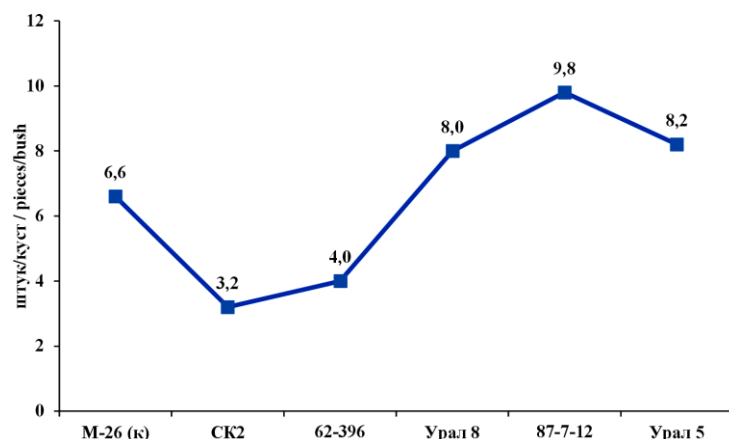


Рис. 2. Продуктивность полудварликовых подвоев яблони в маточнике вертикальных отводков, шт/куст (среднее 2021–2023 гг.) /

Fig. 2. Productivity of semi-dwarf rootstocks of apple trees in the mother plantation of vertical layerings, pcs/bush (average for 2021–2023)

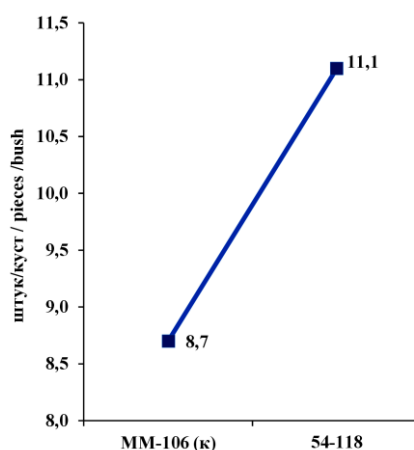


Рис. 3. Продуктивность среднерослых подвоев яблони в маточнике вертикальных отводков, шт/куст (среднее 2021–2023 гг.) /

Fig. 3. Productivity of medium-sized rootstocks of apple trees in the mother plantation of vertical layerings, pcs/bush (average for 2021–2023)

При обработке препаратом Аминовит существенно увеличился прирост подвоев по отношению к контролю: М-26 – 113,8 см (+33,6 см); 83-1-15 – 100,0 см (+17,2 см) при НСР₀₅ = 3,8 см

Под воздействием внекорневых подкормок препаратами Этамон Био и Аминовит достоверно увеличилась длина корневой системы по сравнению с контролем у форм подвоев 83-1-15 – 9,0 см (+2,8 см); 76-3-6 – 7,4 см (+1,4); подвоя Малыш Будаговского – 7,2 см (+1,4 см) при НСР₀₅ = 0,7 см.

Выявлено положительное влияние обработок регулятором роста Этамон Био и удобрением Аминовит на диаметр штамба изучаемых подвоев – прибавка к контролю 0,1–0,3 см при НСР₀₅ = 0,2 см.

При применении некорневых обработок препаратом Этамон Био отмечена тенденция увеличения выхода подвоев первого сорта у формы 87-7-12 – 35,4 %, М-26 – 15,0 % и подвоев Малыш Будаговского – 20,3 %, Урал 8 – 18,0 %, Урал 5 – 14,0 %, существенный прирост выхода клоновых подвоев к контрольному варианту (2,1 абс.%) наблюдали только у ММ-106. При обработке препаратом Аминовит больше всего отводков первого сорта получили у формы 87-7-12 – 36,3 %, подвоев Урал 8 – 19,5 % и

Малыш Будаговского – 23,0 %, М-26 – 16,4 % при существенном приросте к контролю от 2,0 до 5,0 абс.%, НСР₀₅ = 2,0 %. Минимальное количество нестандартных отводков было у форм подвоев 87-7-12 – 0,5 % и 71-7-22 – 1,7 %, существенное снижение выхода нестандартных подвоев к контролю наблюдали как при обработке препаратом Этамон Био (на 0,9–2,4 абс.%), так и препаратом Аминовит (на 0,6–1,7 абс.%) при НСР₀₅ = 0,6 % (табл. 4).

Листовые обработки препаратом Аминовит привели к уменьшению количества околюченности (боковых разветвлений) отводков у подвоев Урал 8 и ММ-106, а также у формы 87-7-12 на 0,6–1,6 шт., в контроле этот показатель составил 1,0–5,4 шт. при НСР₀₅ = 0,5 шт. Околюченность является очень нежелательным признаком. Она сильно затрудняет проведение ручных операций по отделению отводков в маточнике, а затем при их высадке в первое поле питомника.

Таким образом, отмечено достоверное увеличение диаметра отводков, их высоты, а также уменьшение их околюченности. Это позволяет говорить об эффективности листовых обработок регулятором роста Этамон Био и удобрением Аминовит в аридной зоне Астраханской области.

Таблица 4 – Влияние некорневых обработок на выход и качество клоновых подвоев яблони в вертикальном маточнике (среднее за 2021–2023 гг.) /
Table 4 – Effect of foliar treatments on the yield and quality of apple tree clonal rootstocks in a vertical mother plantation (average for 2021–2023)

| Подвой (Фактор А) / Rootstock (Factor A) | Препарат (Фактор В) / Drugs (Factor B) | Высота / Height | | Диаметр / Diameter | | Длина корневой системы / Root system length | | Количество боковых разветвлений / Number of sidebranches | | Выход подвоев / Output of rootstocks | | | |
|--|---|--------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------|---|
| | | см / cm | ± к кон- тролю / ± to control | см / cm | ± к кон- тролю / ± to control | см / cm | ± к кон- тролю / ± to control | шт. / pcs. | ± к кон- тролю / ± to control | I сорт / I grade | | II сорт / II grade | |
| | | | | | | | | | | % | ± к контролю, абс. % / ± to control, abs. % | % | ± к контролю, абс. % / ± to control, abs. % |
| Мальш Будоговского / ‘Malys’h Budagovskogo’ | Контроль / Control | 48,6 | - | 0,6 | - | 5,8 | - | 0,8 | - | 18,7 | - | 20,0 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 71,5 | 22,9 | 0,7 | 0,1 | 7,2 | 1,4 | 1,4 | 0,6 | 20,3 | 1,6 | 21,2 | 1,2 |
| | Аминолит / Aminovit | 59,8 | 11,2 | 0,7 | 0,1 | 7,2 | 1,4 | 1,2 | 0,4 | 23,0 | 4,3 | 22,8 | 2,8 |
| | Контроль / Control | 82,8 | - | 0,8 | - | 6,2 | - | 0 | - | 8,6 | - | 5,0 | - |
| 83-1-15 | Этамон Био / Etamon Bio | 88,0 | 5,2 | 1,0 | 0,2 | 9,0 | 2,8 | 0 | - | 8,8 | 0,2 | 5,2 | 0,2 |
| | Аминолит / Aminovit | 100,0 | 17,2 | 0,8 | - | 7,0 | 0,8 | 0 | - | 8,6 | - | 6,9 | 1,9 |
| | Контроль / Control | 75,6 | - | 0,5 | - | 6,0 | - | 0 | - | 6,6 | - | 10,7 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 77,0 | 1,4 | 0,6 | 0,1 | 7,4 | 1,4 | 0 | - | 7,4 | 0,8 | 11,3 | 0,6 |
| 76-3-6 | Аминолит / Aminovit | 79,0 | 3,4 | 0,7 | 0,2 | 7,4 | 1,4 | 0 | - | 7,0 | 0,4 | 12,0 | 1,3 |
| | Контроль / Control | 80,2 | - | 0,6 | - | 6,4 | - | 0 | - | 14,4 | - | 12,2 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 100,8 | 20,6 | 0,9 | 0,3 | 7,4 | 1,0 | 0 | - | 15,2 | 0,8 | 14,5 | 2,3 |
| | Аминолит / Aminovit | 113,8 | 33,6 | 1,0 | 0,4 | 8,4 | 2,0 | 0 | - | 16,4 | 2,0 | 13,3 | 1,1 |
| 87-7-12 | Контроль / Control | 83,6 | - | 0,8 | - | 6,2 | - | 1,0 | - | 34,3 | - | 10,6 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 91,2 | 7,6 | 0,8 | - | 7,0 | 0,8 | 1,4 | 0,4 | 35,4 | 1,1 | 14,1 | 3,5 |
| | Аминолит / Aminovit | 86,8 | 3,2 | 0,8 | - | 7,0 | 0,8 | 0,6 | -0,4 | 36,3 | 2,0 | 12,3 | 1,7 |
| | Контроль / Control | 86,6 | - | 0,6 | - | 5,4 | - | 0 | - | 12,7 | - | 15,7 | - |
| Урал 5 / ‘Ural 5’ | Этамон Био / Etamon Bio | 106,8 | 20,2 | 0,8 | 0,2 | 6,4 | 1,0 | 0 | - | 14,0 | 1,3 | 17,6 | 1,9 |
| | Аминолит / Aminovit | 91,2 | 4,6 | 0,7 | 0,1 | 7,2 | 1,8 | 0 | - | 13,3 | 0,6 | 19,7 | 4,0 |
| | Контроль / Control | 75,6 | - | 0,6 | - | 5,2 | - | 1,8 | - | 16,5 | - | 9,8 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 115,4 | 39,8 | 0,9 | 0,3 | 6,2 | 1,0 | 1,0 | -0,8 | 18,0 | 1,5 | 10,3 | 0,5 |
| Урал 8 / ‘Ural 8’ | Аминолит / Aminovit | 88,8 | 13,2 | 0,8 | 0,2 | 6,0 | 0,8 | 1,6 | -0,2 | 19,5 | 5,0 | 10,9 | 1,1 |
| | Контроль / Control | 74,0 | - | 0,6 | - | 5,2 | - | 5,4 | - | 10,3 | - | 10,6 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 83,2 | 9,2 | 0,6 | - | 5,4 | 0,2 | 1,0 | -4,4 | 12,4 | 2,1 | 12,5 | 1,9 |
| | Аминолит / Aminovit | 77,0 | 3,0 | 0,6 | - | 5,3 | 0,1 | 1,2 | -4,2 | 11,3 | 1,0 | 10,9 | 0,3 |
| MM-106 | Контроль / Control | 95,6 | - | 0,9 | - | 5,6 | - | 0 | - | 7,5 | - | 10,2 | - |
| | Этамон Био / Etamon Bio | 107,0 | 11,4 | 1,0 | 0,1 | 6,2 | 0,6 | 0 | - | 8,3 | 0,8 | 11,0 | 0,8 |
| | Аминолит / Aminovit | 99,0 | 3,4 | 1,0 | 0,1 | 5,9 | 0,3 | 0 | - | 8,2 | 0,7 | 11,8 | 1,6 |
| | НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 3,8 | - | 0,2 | - | 0,7 | - | 0,5 | - | 2,0 | - | 1,0 | - |
| 71-7-22 | НСР ₀₅ (А) / LSD ₀₅ (A) | 2,2 | - | 0,1 | - | 0,4 | - | 0,3 | - | 1,2 | - | 0,6 | - |
| | НСР ₀₅ (В) / LSD ₀₅ (B) | 1,7 | - | 0,2 | - | 0,3 | - | 0,2 | - | 1,0 | - | 0,4 | - |
| | НСР ₀₅ (AB) / LSD ₀₅ (AB) | 1,7 | - | 0,1 | - | 0,3 | - | 0,2 | - | 0,9 | - | 0,4 | - |
| | НСР ₀₅ (AB) / LSD ₀₅ (AB) | 1,7 | - | 0,1 | - | 0,3 | - | 0,2 | - | 0,9 | - | 0,4 | - |

Весной 2021 года в первом поле питомника был заложен опыт по влиянию различных стимуляторов корнеобразования на приживаемость подвоев яблони, которая по вариантам опыта была различной (табл. 5). В варианте с обработкой препаратом Корневин среди карликовых подвоев выделился Малыш Будаговского – 81,8 % (на уровне контрольного подвоя М-9 – 80,0 %, НСР₀₅ = 3,9 %). У остальных карликовых подвоев приживаемость показала низкий результат: от 14,3 % (71-7-22) до 33,3 % (СКЗ). У полукарликовых подвоев высокая приживаемость была зафиксирована у форм 62-396 – 88,2 % и 87-7-12 – 46,6 %, в отличие от контроля М-26 – 27,3 % (НСР₀₅ = 2,1 %). Среднерослые подвои показали лучшую приживаемость: ММ-106 (контроль) – 84,6 %, 54-118 – 100 %, при НСР₀₅ = 1,7 %.

При обработке препаратом Рибав Экстра высокую приживаемость зафиксировали у кар-

ликового подвоя Малыш Будаговского – 75,0 % и формы 76-3-6 – 40 % (в отличие от контроля 20 %), у карликовых форм 71-7-22 и 83-1-15 приживаемость выявлена низкой 16,0 и 25,0 % соответственно. У полукарликовых подвоев форм 62-396 и 87-7-12 была достоверно высокая приживаемость 94,1 и 53,3 % соответственно по сравнению с контролем М-26 – 25,0 %. Лучшие показатели приживаемости отмечены у среднерослых форм 54-118 и ММ-106 – 100,0 и 92,3 % при НСР₀₅ = 2,8 %.

В варианте с обработкой препаратом Циркон приживаемость подвоев была самой высокой: у карликовых – 100,0 % (СКЗ, М-9 (к)); среднерослых – 100,0 % (54-118) и 86,6 % (ММ-106 (к)) при НСР₀₅ = 2,9 %, полукарликовых – 94,1 % (62-396).

Таким образом, независимо от вариантов обработки стимуляторами, 100 % прижившихся подвоев подошли к окулировке.

Таблица 5 – Приживаемость клоновых подвоев яблони в I поле питомника в зависимости от обработок различными стимуляторами корнеобразования, % из 30 высаженных (среднее за 2021–2023 гг.) /

Table 5 – Survival rate of clonal apple tree rootstocks in the first field of the nursery depending on treatments with various root formation stimulants, % of 30 planted (average for 2021–2023)

| Подвой / Rootstock | Контроль / Control | Корневин, СП / Kornevin, SP | Рибав Экстра, Р / Ribav Extra, R | Циркон / Zircon |
|---|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Карликовые / Dwarf | | | | |
| М-9 (контроль / control) | 61,1 | 80,0 | 20,0 | 100,0 |
| 83-1-15 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 0,0 |
| 76-3-6 | 0,0 | 20,0 | 40,0 | 0,0 |
| Малыш Будаговского / 'Malysh Budagovskogo' | 40,0 | 81,8 | 75,0 | 90,9 |
| СКЗ | 16,6 | 33,3 | 0,0 | 100,0 |
| 71-7-22 | 33,3 | 14,3 | 16,6 | 0,0 |
| НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 2,1 | 3,9 | 2,8 | 3,5 |
| НСР ₀₅ (А) / LSD ₀₅ (А) | 1,2 | 2,2 | 1,6 | 2,0 |
| НСР ₀₅ (В) / LSD ₀₅ (В) | 2,0 | 2,0 | 1,3 | 1,6 |
| НСР ₀₅ (АВ) / LSD ₀₅ (АВ) | 1,0 | 1,7 | 1,2 | 1,5 |
| Полукарликовые / Semi-dwarf | | | | |
| М-26 (контроль / control) | 22,2 | 27,3 | 25,0 | 22,2 |
| Урал 5 / 'Ural 5' | 8,3 | 19,0 | 20,8 | 17,4 |
| Урал 8 / 'Ural 8' | 40,0 | 24,0 | 23,0 | 30,0 |
| 87-7-12 | 26,6 | 46,6 | 53,3 | - |
| 62-396 | 64,7 | 88,2 | 94,1 | 94,1 |
| НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 2,2 | 2,1 | 1,0 | 1,6 |
| НСР ₀₅ (А) / LSD ₀₅ (А) | 1,3 | 1,2 | 0,5 | 1,1 |
| НСР ₀₅ (В) / LSD ₀₅ (В) | 1,0 | 0,9 | 0,4 | 0,6 |
| НСР ₀₅ (АВ) / LSD ₀₅ (АВ) | 0,9 | 1,0 | 0,4 | 0,4 |
| Среднерослые / Medium height | | | | |
| ММ-106 (контроль / control) | 92,8 | 84,6 | 92,3 | 86,6 |
| 54-118 | 33,3 | 100 | 100 | 100 |
| НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 2,1 | 1,7 | 2,8 | 2,9 |
| НСР ₀₅ (А) / LSD ₀₅ (А) | 0,5 | 1,0 | 1,7 | 1,6 |
| НСР ₀₅ (В) / LSD ₀₅ (В) | 0,3 | 0,8 | 1,2 | 0,6 |
| НСР ₀₅ (АВ) / LSD ₀₅ (АВ) | 0,2 | 1,0 | 1,3 | 1,2 |

Заключение. В результате полевых испытаний установлено, что использование стимулирующих веществ в условиях аридной зоны весьма эффективно, так как выявлено самое раннее отрастание маточных кустов у среднерослых и полукарликовых подвоев. Повышается продуктивность подвоев в маточнике. Внекорневые подкормки препаратами Этамон Био и Аминовит оказали положительное влияние на длину корневой системы, увеличение диаметра штамба и прирост высоты подвоев.

Некорневые обработки значительно увеличили выход отводков первого сорта. Отмечено

достоверное уменьшение количества околюченности отводков, то есть отводков, имеющих боковые побеги.

Выявлено, что лучшими результатами по приживаемости в сравнении с контролем и другими вариантами выделились карликовые и среднерослые подвои, обработанные в стимуляторе корнеобразования Циркон.

Таким образом, можно утверждать, что влияние стимулирующих веществ на хозяйственно биологические параметры растений клоновых подвоев яблони в условиях аридной зоны достаточно эффективно и ведет к увеличению производства высококачественных отводков.

Список литературы

1. Седов Е. Н., Корнеева С. А., Янчук Т. В. Роль отечественной селекции в совершенствовании сорта яблони в России. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;(4):17–19. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/17-19> EDN: GIYKMT
2. Куликов И. М., Минаков И. А. Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(1): 9–15. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/94> EDN: XVRTWH
3. Зволинский В. П., Лавелина Т. П., Батовская Е. К. Климатические параметры севера Астраханской области. Повышение эффективности сельскохозяйственного производства юга России: сб. науч. тр. М.: Вестник РАСХН, 2008. С. 13–18.
4. Гуляева А. А., Ефремов И. Н., Берлова Т. Н., Галькова А. А. Клоновые подвои сливы в сорто-подвойных комбинациях для садов интенсивного типа. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;(6):27–30. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/27-30> EDN: VSYWJB
5. Галашева А. М., Седов Е. Н. Триплоидные сорта яблони летнего срока созревания селекции ВНИИСПК на клоновом подвое 54-118. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;(6):34–36. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/34-36> EDN: ICGGLV
6. Оплачко Р. А., Причко Т. Г., Горбунов И. В. Влияние некорневых подкормок минеральными удобрениями на выход и биометрические показатели отводков. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019;(147):31–42. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-147-012> EDN: TSRNVP
7. Александрова Т. И. Влияние некорневых подкормок на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя в аридных условиях Северного Прикаспия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):181–188. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.181-188> EDN: CLZXWK
8. Иваненко Е. Н., Дроник А. А. Эффективность применения некорневых подкормок на яблоне в аридных условиях. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(4):95–100. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xparnz> EDN: XPARNZ
9. Муханин И. В., Григорьева Л. В., Ершова О. А., Кожина А. И. Основные требования к посадочному материалу для закладки шпалерно-карликовых садов. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2011;6(3(21)):150–153. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16961429> EDN: LKYGZF
10. Леонченко В. Г., Евсеева Р. П., Жбанова Е. В., Черенкова Т. А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов: методические рекомендации. Мичуринск: ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И. В. Мичурина, 2007. 72 с.

References

1. Sedov E. N., Korneeva S. A., Yanchuk T. V. The role of domestic breeding in improving the apple assortment in Russia. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2021;(4):17–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/17-19>
2. Kulikov I. M., Minakov I. A. The development of horticulture in Russia: trends, problems, prospects. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(1):9–15. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/94>

3. Zvolinskiy V. P., Lavelina T. P., Batovskaya E. K. Climatic parameters of the northern part of Astrakhan region. Improving the efficiency of agricultural production in the South of Russia: collection of scientific papers. Moscow: *Vestnik RASKhN*, 2008. pp. 13–18.
4. Gulyaeva A. A., Efremov I. N., Berlova T. N., Gal'kova A. A. Plum clonal rootstocks in variety-rootstock combinations for intensive orchards. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2021;(6):27–30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/27-30>
5. Galasheva A. M., Sedov E. N. Triploid apple varieties of summer ripening selection VNIISPK on clonal rootstock 54-118. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2021;(6):34–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/34-36>
6. Oplachko R. A., Prichko T. G., Gorbunov I. V. The effect of foliar treatments with mineral fertilizers on the yield and biometric indicators of cuttings. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2019;(147):31–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-147-012>
7. Alexandrova T. I. The effect of non-root fertilizing on the yield and quality of plum fruits of the 'Velikaya sinyaya' variety in arid conditions of the Northern Precaspian Sea. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):181–188. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.181-188>
8. Ivanenko E. N., Dronik A. A. The efficacy of foliar feeding on the apple tree in arid conditions. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(4):95–100. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xparnz>
9. Mukhanin I. V., Grigor'eva L. V., Ershova O. A., Kozhina A. I. Basic requirements for laying planting hedgerow-dwarf gardens. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2011;6(3(21)):150–153. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16961429>
10. Leonchenko V. G., Evseeva R. P., Zhdanova E. V., Cherenkova T. A. Preliminary selection of promising genotypes of fruit plants for environmental sustainability and biochemical value of fruits: methodological recommendations. Michurinsk: *VNI genetiki i selektsii plodovykh rasteniy im. I. V. Michurina*, 2007. 72 p.

Сведения об авторе

✉ **Матвеева Наталья Ивановна**, кандидат пед. наук, научный сотрудник отдела плодово-ягодных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», ул. Квартал Северный, д. 8, с. Солёное Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, e-mail: matni29@mail.ru

Information about author

✉ **Natalya I. Matveeva**, PhD in Pedagogical Science, researcher, the Department of Fruit and Berry Crops of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, s. Solenoye Zaimishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, e-mail: matni29@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ/PLANT PROTECTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.634-644>
УДК 633.358:579.64:632.937.14



Эффективность применения лабораторных образцов на основе бактерий рода *Streptomyces* на горохе в условиях Волго-Вятского региона

© 2024. И. В. Лыскова✉, И. Г. Широких, Я. И. Назарова, Т. В. Лыскова, С. С. Пислегина, Г. А. Перевозчикова

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

Представлены данные по продуктивности, поражению грибными болезнями и качеству зерна гороха посевного, выращенного в условиях Кировской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в 2021–2023 гг. с применением предпосевной обработки семян в отдельности и в сочетании с обработкой растений по вегетации лабораторными образцами на основе местных штаммов рода *Streptomyces* (A4 и 8A1-3). Препаратами сравнения служили химический фунгицид Пионер, КС и биологический Псевдобактерин-2, Ж. Оценку биологической эффективности (БЭ) препаратов проводили на сортах гороха различного морфотипа селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: Фалёнский юбилейный, Фалёнский усатый, Фалёнский кормовой. Биологическая эффективность всех испытуемых препаратов в защите гороха от корневых гнилей и аскохитоза определялась погодными условиями года исследований. В 2021 г. достоверному снижению развития корневых гнилей по сравнению с контролем без обработки (38,4 %) способствовала обработка семян лабораторным образцом на основе штамма *S. antimycoticus* 8A1-3 (29,0 %). Достоверному сокращению развития корневых гнилей гороха в 2022 г. содействовали обработки семян химическим фунгицидом Пионер (на 9,1 %), эталонным биопрепаратом Псевдобактерин-2 (на 9,9 %) и испытуемым штаммом *S. antimycoticus* 8A1-3 (на 7,1 %). В защите гороха от аскохитоза в 2022 г. проявил себя на уровне химического фунгицида Пионер (БЭ 72,7 %) штамм *Streptomyces* A4 (БЭ 72,7 %), а штамм *Streptomyces* 8A1-3 (БЭ 84,1 %) существенно превзошел их по эффективности. Влияние препаратов на урожайность гороха в годы проведения исследований (ГТК = 0,77–0,83 при среднем многолетнем ГТК = 1,4) оценивалось как незначительное. Обработка семян и вегетирующих растений как лабораторными образцами, так и коммерческими препаратами не сказалась отрицательно на показателях крупности зерна и содержания в нем сырого протеина. Сорт Фалёнский усатый выделялся среди изученных сортов крупносемянностью: масса 1000 зерен составила 258,8±18,5 г. Среднесемянными показали себя сорта Фалёнский кормовой (174,7±23,1 г) и Фалёнский юбилейный (147,9±37,1 г). На содержании сырого протеина в зерне отрицательно отразилось развитие корневых гнилей на горохе (коэффициент корреляции $r = -0,77$). Максимальное содержание сырого протеина зафиксировано при совместной обработке семян и растений лабораторным образцом на основе *S. castalarensis* A4 (24,0±2,6 %) у сорта Фалёнский юбилейный, препаратом Псевдобактерин-2 (23,1±2,0 %) – Фалёнский кормовой, лабораторным образцом на основе *S. antimycoticus* 8A1-3 (21,1±1,7 %) – у сорта Фалёнский усатый.

Ключевые слова: *Pisum sativum* L., биологические препараты, урожайность, корневые гнили, аскохитоз, масса 1000 зерен, сырой протеин

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В., Широких И. Г., Назарова Я. И., Лыскова Т. В., Пислегина С. С., Перевозчикова Г. А. Эффективность применения лабораторных образцов на основе бактерий рода *Streptomyces* на горохе в условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):634–644.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.634-644>

Поступила: 01.04.2024

Принята к публикации: 19.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The effectiveness of using the laboratory samples based on bacteria of the genus *Streptomyces* on peas in the conditions of the Volga-Vyatka region

© 2024. Irina V. Lyskova✉, Irina G. Shirokikh, Yanina I. Nazarova, Tatiana V. Lyskova, Svetlana S. Pislegina, Galina A. Perevozshtikova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Data on productivity, fungal diseases and the quality of seed peas grown on sod-podzolic medium-clay soil in 2021–2023 using pre-sowing seed treatment separately and in combination with plant vegetation treatment with experimental preparations based on local strains of the genus Streptomyces (A4 and 8A1-3) are presented. The comparison drugs were the chemical fungicide Pioneer, KS and the biological drug Pseudobacterin-2, J. The assessment of the biological effectiveness (BE) of the drugs was carried out on cultivars of peas of various morphotypes bred by the FARC North-East: 'Falensky yubileiny', 'Falensky usaty', 'Falensky kormovoy'. The biological effectiveness of all tested preparations in protecting peas from root rot and ascochitosis was determined by the weather conditions of the year of research. In 2021, a significant decrease in the development of root rot compared with the control (38.4 %) was facilitated by seed treatment with a preparation based on S. antimycoticus 8A1-3 strain (29.0 %). A significant reduction in the development of pea root rot in 2022 was achieved by seed treatment with the chemical fungicide Pioneer (by 9.1 %), the reference bio-drug Pseudobacterin-2 (by 9.9 %) and the test strain S. antimycoticus 8A1-3 (by 7.1 %). In protecting peas from ascochitosis in 2022, the strain Streptomyces A4 (BE 72.7 %) proved itself as a Pioneer chemical fungicide (BE 72.7 %), and the strain Streptomyces 8A1-3 (BE 84.1 %) significantly surpassed them in effectiveness. The effect of drugs on the yield of peas in the years of research ($HTC = 0.77–0.83$ with an average long-term $HTC = 1.4$) was estimated as insignificant. Treatment with both experimental and commercial preparations of seeds and vegetative plants did not adversely affect the grain size and the content of crude protein in it. The 'Falensky usaty' was distinguished among the studied cultivars by large seeds: the mass of 1000 grains was 258.8 ± 18.5 g. The 'Falensky kormovoy' and the 'Falensky yubileiny' cultivars proved to be medium-seeded ones (174.7 ± 23.1 and 147.9 ± 37.1 g, respectively). The content of crude protein in grain was negatively affected by the development of root rot on peas (correlation coefficient $r = -0.77$). The maximum crude protein content was recorded during the joint treatment of seeds and plants with a preparation based on S. castalarensis A4 (24.0 ± 2.6 %) in the 'Falensky jubileiny' cultivar, with Pseudobacterin-2 (23.1 ± 2.0 %) in the 'Falensky kormovoy' cultivar, with a preparation based on S. antimycoticus 8A1-3 (21.1 ± 1.7 %) in the 'Falensky usaty' cultivar.

Keywords: *Pisum sativum* L., biological preparations, yield, root rot, ascochitosis, weight of 1000 grains, crude protein

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0005).

The authors thank the reviewers for their comments to improve the manuscript for the publication.

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

For citations: Lyskova I. V., Shirokikh I. G., Nazarova Ya. I., Lyskova T. V., Pislegina S. S., Perevozshtikova G. A. The effectiveness of using the laboratory samples based on bacteria of the genus *Streptomyces* on peas in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):634–644. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.634-644>

Received: 01.04.2024

Accepted for publication: 19.07.2024

Published online: 28.08.2024

Вопросы защиты сельскохозяйственных культур от негативного действия биотических факторов и, в частности, болезней являются актуальными. Селекционеры работают в этом направлении во всех селекционных центрах России [1, 2, 3, 4]. Сочетать продуктивность и устойчивость к фитопатогенам в одном генотипе достаточно сложно, поэтому в сельскохозяйственном производстве использование пестицидов остается на высоком уровне, например, за 10 лет (с 2012 по 2021 год) их применение увеличилось на 23 % [5, 6], что, в свою очередь, негативно влияет на экологическую ситуацию.

С развитием органического земледелия (Федеральный закон № 280-ФЗ¹) прогнозируется

значительное увеличение спроса на биологические препараты для производства органической продукции растениеводства, тем более что использование микроорганизмов, обладающих комплексом полезных свойств, является современной тенденцией развития сельскохозяйственной и экологической биотехнологии [7, 8].

По состоянию на 1 февраля 2024 г. в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации»² биологических препаратов внесено 30 наименований, из них разрешенных к использованию на горохе всего 3 (Органика Ф, Фитоспорин-АС, Респекта).

¹Федеральный закон от 03.08.2018 № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43456> (дата обращения: 18.03.2024).

²Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть 1. Пестициды. Информация по состоянию на 1 февраля 2024 г. Издание официальное. М., 2024.

URL: <https://lysterra.ru/wp-content/uploads/katalog-na-01.-02.-2024-pesticidy.docx>

Среди коммерческих препаратов на основе бактерий рода *Streptomyces* можно отметить Метабактерин (в состав входят продукты жизнедеятельности *Streptomyces hygroscopicus*), Фитоплазмин (макролидный тилозиновый комплекс – продуцент *Streptomyces fradiae*). Стрептомицеты продуцируют множество метаболитов, в том числе индуцирующих системную устойчивость растений, а также содействующих формированию бобово-ризобиального симбиоза [9, 10, 11], некоторые виды способны к синтезу полиеновых и других соединений антифунгального действия [12, 13]. Данные вещества имеют ряд преимуществ в сравнении с традиционными фунгицидами: легко проникают в органы и ткани растений; их действие в меньшей степени зависит от неблагоприятных погодных условий; наряду с защитным и ростстимулирующим действием их применяют не только в качестве средств защиты вегетирующих растений от патогенов, но и для обработки посевного (посадочного) материала.

Изучение вторичных метаболитов местных ризосферных штаммов-лидеров по антифунгальной активности *Streptomyces antimycoticus* 8A1-3 и *Streptomyces castelarensis* A4 с помощью высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС/МС) выявило их способность синтезировать экзометаболические полиеновые и аминокликозидной природы, что обусловило антифунгальное и антибактериальное действие этих бактерий в экспериментах *in vitro* [14].

Цель исследований – оценить в полевых условиях реакцию сортов гороха на обработку семян в отдельности и в сочетании с опрыскиванием вегетирующих растений экспериментальными лабораторными образцами препаратов фунгицидного действия для разработки комплексной экологизированной системы защиты гороха от экономически значимых болезней.

Научная новизна – в результате работы получены новые экспериментальные данные об эффективности применения лабораторных образцов на основе штаммов *Streptomyces castelarensis* A4 и *Streptomyces antimycoticus*

8A1-3 на сортах гороха селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Материал и методы. Исследования проведены в 2021–2023 гг. на опытном поле селекционного севооборота Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в условиях восточного района центральной климатической зоны Кировской области. Почва опытных участков – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (усредненные данные): рН_{KCl} – 5,0 (на иономере ЭВ-74³), содержание гумуса (по Тюрину⁴) 2,45 %, подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову⁵) 307 и 265 мг/кг почвы соответственно. Предшественник – зерновые культуры. Агрофон: под культивацию внесена (вразброс 1-РМГ-4) нитроаммофоска (N₆P₂₀K₃₀) в дозе 3,0 ц/га.

Объекты исследований:

- сорта гороха различного морфотипа селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: Фалёнский юбилейный (листочковый, среднестебельный, белоцветковый); Фалёнский усатый (усатый, укороченостебельный, белоцветковый); Фалёнский кормовой (листочковый, длинностебельный, белоцветковый). Изучаемые сорта восприимчивы к фузариозной корневой гнили, к аскохитозу – среднеустойчивы Фалёнский юбилейный и Фалёнский кормовой, Фалёнский усатый – восприимчив;

- препараты с фунгицидным действием: Пионер, КС – химический эталон; лабораторный образец на основе суспензии клеток штамма *S. castelarensis* A4; лабораторный образец на основе суспензии *S. antimycoticus* 8A1-3; Псевдобактерин-2, Ж – биологический эталон.

Образцы препаратов на основе штаммов *S. castelarensis* A4 и *S. antimycoticus* 8A1-3 изготовлены в лаборатории биотехнологии и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, титр препаратов 10⁶ КОЕ/мл. Для сравнения в качестве эталонов использовали химический фунгицид Пионер, КС (флутриафол, 25 г/л + тиабендазол, 25 г/л) и биологический препарат Псевдобактерин-2, Ж (*Pseudomonas aureofaciens* BS1393, титр не менее 2×10⁹ КОЕ/мл).

³ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁴ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

⁵ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

Изучали два варианта использования фунгицидных препаратов – обработка семян; обработка семян и вегетирующих растений (контроль – без обработки). Расход препаратов: обработка семян – из расчета 1 л препарата на тонну семян, расход рабочей жидкости 10 л/т; обработка (опрыскивание) растений по инструкции к препарату Псевдобактерин-2, Ж – 1 л/га, расход рабочей жидкости 300 л/га (https://www.pesticidy.ru/pesticide/psevdobakterin-2zh/regulations_of_using). Обработку растений во время вегетации проводили дважды: в межфазные периоды «появление 5-го и 6-го листа» и «бутонизация-начало цветения».

Учетная площадь делянок в опыте 1 м², повторность 3-кратная, размещение делянок последовательное. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7, норма высева 1,2 млн всхожих семян на 1 га. Уборка проведена вручную в фазу «полная спелость» с последующим обмолотом на сноповой молотилке МСУ-1. Учёт урожайности зерна⁶ проводили со всей делянки с последующим взвешиванием и пересчетом на г/м², учёт степени поражения болезнями (корневые гнили, аскохитоз) – по специальным шкалам, на основе балльной оценки⁷. Развитие болезней и биологическую эффективность рассчитывали по формулам (1, 2):

$$R = \sum (a \times b) \times 100 / N \times K, \quad (1)$$

где R – развитие болезни, %; a – количество растений с одинаковым баллом поражения (b); \sum – сумма произведений a×b; N – общее число растений в варианте; K – высший балл шкалы учета;

$$C = 100 \times (P - p) / P, \quad (2)$$

где C – биологическая эффективность, %;

P – развитие болезни в контроле, %;
p – развитие болезни в варианте, %.

Определение массы 1000 зёрен⁸ и общего азота по методу Кьельдаля в модификации Сереньева в пересчете на сырой протеин (коэффициент 6,25)⁹ выполнены на образцах зерна урожая 2022, 2023 гг.

Вегетационные периоды гороха в годы проведения исследований отличались по метеорологическим условиям, характеристика которых приведена в таблице 1. В 2021 г. горох в опыте посеяли 26 мая в достаточно теплую и увлажненную почву, в июне установилась сухая (24,7 % от климатической нормы) и жаркая (+3,4 °C к среднегодовым данным) погода, что отрицательно повлияло на рост и развитие растений и, как следствие, на продуктивность. В 2022 г. в мае установилась холодная (-3,1 °C от нормы) и влажная (138,6 %) погода, в связи с чем посев провели только 2 июня, в июне и июле температурный режим был ниже среднегодовым нормам, а количество осадков составило 85,6 и 77,6 % от нормы соответственно, что благоприятно сказалось на формировании продуктивности гороха. В 2023 г. посев провели 20 мая в условиях, приближенных к среднегодовым нормам – малое количество осадков (39,0 %) при невысокой температуре воздуха в июне, достаточное увлажнение (119 % от нормы) в июле способствовали формированию продуктивности гороха. При этом степень увлажнения вегетационных периодов 2021–2023 гг. по гидротермическому коэффициенту Селянинова¹⁰ (ГТК) была недостаточной.

Таблица 1 – Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований (2021–2023), по данным Фаленской метеостанции /

Table 1 – Meteorological conditions of the growing season during the research years (2021–2023) according to the Falenki weather station

| Год / Year | Средняя температура воздуха, °C / Average air temperature, °C | | | | Количество осадков, мм / Amount of precipitation, mm | | | | | ГТК / HTC |
|---------------------|--|----------------|----------------|--------------------|---|----------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------|
| | май / may | июнь / june | июль / july | август / august | май / may | июнь / june | июль / july | август / august | май-август / may-august | |
| 2021 | 15,0 | 19,3 | 18,8 | 18,2 | 76 | 19 | 65 | 36 | 196 | 0,77 |
| 2022 | 8,3 | 14,1 | 17,7 | 14,7 | 61 | 66 | 52 | 8 | 187 | 0,83 |
| 2023 | 13,4 | 14,0 | 18,8 | 17,3 | 44 | 30 | 80 | 28 | 182 | 0,78 |
| Среднее* / Average* | 11,4 | 15,9 | 18,3 | 15,4 | 44 | 77 | 67 | 73 | 261 | 1,40 |

*Среднее многолетнее значение, рассчитанное в соответствии с требованиями Всемирной метеорологической организации за 30-летний период (1991...2020 гг.) / *Average long-term value, calculated in accordance with the requirements of the World Meteorological Organization for a 30-year period (1991...2020)

⁶Методика государственного сортоиспытания. М., 1985. 239 с

⁷Овчинникова А. М., Андрюхина Р. М., Азарова Е. Ф. Методы ускоренной оценки селекционного материала гороха на инфекционных и провокационных фонах: методические рекомендации. М., 1990. 23 с.

⁸Методические рекомендации по оценке качества зерна. М., 1977. 172 с.

⁹Метод ускоренного определения азота с использованием аппарата Сереньева. М.: ЦИНАО, 1989. 8 с.

¹⁰Научно-прикладной справочник по климату СССР: в 6 ч. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Л., 1988. Вып. 12. 647 с.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с помощью трехфакторного дисперсионного анализа: фактор А – «год исследования»; фактор В – «сорт»; фактор С – «варианты обработки препаратами». Использовали пакет прикладных программ AGROS – версия 2.07. В таблицах приведены средние значения и их стандартные отклонения.

Результаты и их обсуждение. Корневые гнили и аскохитоз относят к самым вредоносным и распространенным заболеваниям гороха в Российской Федерации. В Кировской области преобладает фузариозная корневая гниль, возбудителем которой являются грибы рода *Fusa-*

rium spp. [4]. В фазе «всходы» наблюдается загнивание корневой шейки, у молодых растений отмечается пожелтение нижних листьев, которое распространяется на листья верхнего яруса, пораженные растения не плодоносят или образуют щуплые семена.

Развитию корневой гнили способствуют высокие температуры воздуха 20–28 °С и дефицит влаги в почве, такие условия сложились в июне 2021 г. в первой половине роста и развития растений. Достоверное снижение развития корневых гнилей по сравнению с контролем обеспечила обработка семян лабораторным образцом на основе штамма *S. antimycoticus* 8A1-3 (табл. 2).

Таблица 2 – Развитие корневых гнилей на горохе и биологическая эффективность препаратов, % (среднее по трем сортам) /

Table 2 – Development of root rot on peas and biological effectiveness of drugs, % (average for three cultivars)

| Вариант / Variant | | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Контроль / Control | Без обработки / Without treatment | 38,4* / - | 41,4/- | 38,6/- |
| Пионер / Pioneer | 1 | 38,5 */0 ** | 32,3/22,0 | 35,1/9,1 |
| <i>S. castalarensis</i> A4 | 1 | 35,0/8,9 | 36,1/12,8 | 39,0/0 |
| | 2 | - | 31,8/23,2 | 39,1/0 |
| <i>S. antimycoticus</i> 8A1-3 | 1 | 29,0/24,5 | 34,3/17,1 | 38,4/0,5 |
| | 2 | - | 34,5/16,7 | 38,5/0,3 |
| Псевдобактерин-2 / Pseudobacterin-2 | 1 | 35,1/8,6 | 31,5/23,9 | 37,8/2,1 |
| | 2 | - | 31,3/24,4 | 34,4/10,9 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | | - | 3,5/ F _ф <F _т | 2,5/ F _ф <F _т |

Примечания: 1 – обработка семян; 2 – обработка семян и вегетирующих растений; *развитие болезни, **биологическая эффективность препарата / Notes: 1 – seed treatment; 2 – treatment of seeds and vegetative plants; *disease development, ** biological effectiveness of the drug

В 2022 г. у растений гороха достоверному сокращению развития корневых гнилей по сравнению с контролем способствовала обработка семян химическим фунгицидом Пионер (на 9,1 %), эталонным биопрепаратом Псевдобактерин-2 (на 9,9 %) и испытуемым штаммом *S. antimycoticus* 8A1-3 (на 7,1 %). Использование штамма *S. castalarensis* A4 статистически значимо проявилось только в результате предпосевной обработки семян в сочетании с повторной обработкой вегетирующих растений (снижение на 9,6 %). В 2023 г. обработка лабораторными образцами препаратов в защите гороха от корневых гнилей не дала достоверного снижения заболевания. В период исследований установлена отрицательная зависимость урожайности гороха от развития корневых гнилей (коэффициент корреляции $r = -0,72$).

Эффективность современных фунгицидов на биологической основе по некоторым культурам (картофель, виноград, капуста) приближается

к 70 %, на горохе – 30,3±3,4 % [6]. В наших исследованиях биологическая эффективность (БЭ) изучаемых препаратов при защите гороха от корневых гнилей зависела от погодных условий. Так, действенность химического препарата Пионер в условиях сухого и жаркого вегетационного периода 2021 г. не выявлена, тогда как в более влажных и прохладных условиях 2022 г. его эффективность отмечена на уровне 22,0 %. В 2022 г. результативность Псевдобактерин-2 в защите гороха от корневых гнилей была выше, чем Пионер и составила 23,9–24,4 %. БЭ штамма *S. castalarensis* A4 при обработке только семян гороха составила 12,8 %, а при сочетании обработки семян с обработкой вегетирующих растений увеличилась до 23,2 %. БЭ штамма *S. antimycoticus* 8A1-3 в этих вариантах составила 17,1 и 16,7 % соответственно. В агрометеоусловиях 2023 г., наиболее благоприятных для роста гороха, действие лабораторных препаратов не проявилось (БЭ от 0

до 0,5 %), а БЭ коммерческих препаратов сравнения снизилась до 2,1–10,9 % (табл. 2).

Развитию аскохитоза способствует высокая (более 70 %) влажность воздуха и умеренные (15–20 °C) температуры. В условиях 2021 г. развитие болезни на бобах в контрольном варианте отмечено на уровне 12,8 %. Лидером в защите гороха от поражения аскохитозом бобов стал химический фунгицид Пионер, снизивший развитие болезни на 7,5 %

(HCP₀₅ = 3,5) (табл. 3). Обработка семян в сочетании с обработкой растений во время вегетации препаратом Псевдобактерин-2 и лабораторным образцом на основе штамма *S. antimycoticus* 8A1-3 также способствовала снижению развития болезни по сравнению с необработанным контролем, но БЭ в этих вариантах составила только 15,6 и 9,4 % соответственно. В остальных вариантах действие биологических препаратов не было эффективным.

Таблица 3 – Развитие аскохитоза на бобах гороха и биологическая эффективность препаратов, % (среднее по трем сортам) /

Table 3 – Development of ascochyta blight on beans and biological effectiveness of preparations, % (average for three cultivars)

| Вариант опыта / Variant of the experiment | | 2021 г. | 2022 г. |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Контроль / Control | Без обработки / Without treatment | 12,8* / - | 4,4/- |
| Пионер / Pioneer | 1 | 5,3*/58,6** | 1,2/72,7 |
| <i>S. castalarensis</i> A4 | 1 | 13,2/0 | 2,4/45,5 |
| | 2 | 15,3/0 | 1,2/72,7 |
| <i>S. antimycoticus</i> 8A1-3 | 1 | 12,9/0 | 4,1/6,8 |
| | 2 | 11,6/9,4 | 0,7/84,1 |
| Псевдобактерин-2 / Pseudobacterin-2 | 1 | 13,0/0 | 1,9/56,8 |
| | 2 | 10,8/15,6 | 2,6/40,9 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | - | 3,5/ F _φ <F _т | 1,1/ F _φ <F _т |

Примечания: 1 – обработка семян; 2 – обработка семян и вегетирующих растений; *развитие болезни, **биологическая эффективность препарата / Notes: 1 – seed treatment; 2 – treatment of seeds and vegetative plants; *disease development, ** biological efficacy of the drug

Вегетационный период 2022 г. по агрометеорологическим условиям был более благоприятным для развития гороха, что, вероятно, активировало компенсаторные механизмы и повысило адаптивность растений к биологическим стрессам. Развитие аскохитоза на бобах в контрольном варианте составило всего 4,4 % (табл. 3). Достоверное в сравнении с контролем снижение развития аскохитоза отмечено в вариантах, сочетающих предпосевную обработку семян с опрыскиванием вегетирующих растений экспериментальными образцами (до 1,2 и 0,7 %) и эталонным биологическим препаратом Псевдобактерин-2 (до 2,6 %). В условиях данного года лабораторный образец на основе штамма *S. castalarensis* A4 (БЭ 72,7 %) проявил себя в защите от аскохитоза бобов на уровне химического фунгицида Пионер (БЭ 72,7 %), штамм *S. antimycoticus* 8A1-3 (БЭ 84,1 %) превзошел их по эффективности.

Результаты исследований показали, что в среднем за три года в контрольном варианте

наиболее урожайным выделился сорт листочкового морфотипа Фалёнский юбилейный, менее урожайным – сорт усатого морфотипа Фалёнский усатый, промежуточное положение занимала линия листочкового длинностебельного типа Фалёнский кормовой (табл. 4). Существенного различия по урожайности от обработки препаратами не отмечено. При анализе показателя по усредненным данным установлено, что обработка семян химическим препаратом Пионер снизила урожайность культуры относительно контроля всего на 1 %. При обработке только семян как лабораторными образцами на основе стрептомицетов, так и препаратом Псевдобактерин-2 урожайность получена меньше, чем без обработки и составила от 92 до 98 % к контролю. В вариантах при совместной обработке семян гороха и по вегетации Псевдобактерином-2 и лабораторными образцами A4 и 8A1-3– урожайность получена выше на 5-6 %, чем в контрольном.

Таблица 4 – Урожайность сортов гороха в зависимости от обработки семян и растений во время вегетации, г/м² (среднее за 2021–2023 гг.) /

Table 4 – Productivity of pea cultivars depending on the treatment of seeds and plants during the growing season, g/m² (average for 2021–2023)

| Вариант опыта / Variant of the experiment | | Фалёнский юбилейный / 'Falensky yubileiny' | Фалёнский усатый / 'Falensky usaty' | Фалёнский кормовой / 'Falensky kormovoy' | Среднее по варианту (фактор С) / Average for the variant (factor C) | % к кон- тролю / % to control |
|---|---|---|--|---|--|-------------------------------------|
| Контроль / Control | Без обра- ботки / With- out treatment | 388±197 | 314±165 | 363±184 | 355±182 | 100 |
| Пионер / Pioneer | 1 | 375±194 | 321±177 | 356±165 | 351±179 | 99 |
| S. castalarensis A4 | 1 | 368±221 | 300±190 | 349±208 | 339±206 | 95 |
| | 2 | 395±190 | 328±153 | 401±164 | 375±169 | 106 |
| S. antimycoticus 8A1-3 | 1 | 350±216 | 296±171 | 338±190 | 328±192 | 92 |
| | 2 | 379±179 | 346±178 | 388±149 | 372±169 | 105 |
| Псевдобактерин-2 / Pseudobacterin-2 | 1 | 360±223 | 321±216 | 363±207 | 348±215 | 98 |
| | 2 | 394±173 | 346±136 | 391±128 | 377±146 | 106 |
| Среднее по фактору А (год) / Average by factor A (year) | | 2021 г. – 147±50; 2022 г. – 444±48; 2023 г. – 476±171 | | | | - |
| Среднее по фактору В (сорт) / Average by factor B (cultivar) | | 376±199 | 322±173 | 369±175 | 356±182 | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | | A = 50, B = 18, C = 22, AC = 60 | | | | |

Примечания: 1 – обработка семян; 2 – обработка семян и вегетирующих растений /

Notes: 1 – seed treatment; 2 – treatment of seeds and vegetative plants

Одна из задач наших исследований – оценка влияния фунгицидов на качество зерна гороха. Крупность гороха характеризует показатель «масса 1000 зерен». Согласно классификатору СЭВ рода *Pisum* L.¹¹ к мелкосемянным относят сорта с массой 1000 зерен менее 150 г, среднесемянным – от 150 до 250 г, к крупносемянным – более 250 г. Для сортов укосо-зернового направления характерна невысокая масса 1000 зерен, для фуражного и продовольственного назначения – более высокая. В ходе исследований установлено, что сорт Фалёнский усатый наиболее крупный (245,7–271,9 г) по массе 1000 зерен среди изученных сортов, менее крупный Фалёнский юбилейный (121,7–174,1 г) и промежуточное положение занимал Фалёнский кормовой (158,3–191,1 г). Достоверного отрицательного влияния обработки препаратами на крупность зерна гороха не установлено (табл. 5). Небольшое снижение отмечено у листочковых сортов на уровне 1,3–3,3 % от контрольного варианта у сорта Фалёнский юбилейный, на 0,3–3,5 % – Фалёнский кормовой. У сорта Фалёнский усатый при обработке *S. castalarensis* A4 и *S. antimycoticus* 8A1-3

(семена + обработка по вегетации) масса 1000 зерен в среднем за 2 года увеличилась на 4,3 %.

Ещё в начале XIX века основоположник агрохимии в России Д. Н. Прянишников писал, что ценность гороха, как культуры, определяется высоким содержанием белка в зерне и зеленой массе, при этом колебания могут составлять в зависимости от сорта и условий возделывания от 18,6 до 35,7 % [15, 16]. В почвенно-климатических условиях Кировской области содержание сырого протеина в зерне гороха может варьировать у сортообразцов в различные годы от 18,5 до 27,8 %, более стабилен данный признак при среднем содержании показателя от 22,4 до 23,0 % [17]. В наших исследованиях не установлено отрицательного влияния обработки препаратами как химическим, так и биологическими на содержание сырого протеина в зерне гороха. В среднем за годы изучения повышенным содержанием сырого протеина отличились листочковые сорта гороха – Фалёнский юбилейный (23,2±1,9 %) и Фалёнский кормовой (22,0±2,3 %) в сравнении с Фалёнским усатым (20,6±2,2 %) (табл. 6).

¹¹Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ рода *Pisum* L. Л., 1984. 46 с.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT PROTECTION

Таблица 5 – Масса 1000 зерен сортов гороха за годы изучения, г (среднее за 2022-2023 гг.) /
Table 5 – Weight of 1000 grains of pea varieties over the years of study, g (average for 2022-2023)

| Вариант опыта / Variants of the experiment | | Фалёнский юбилейный / 'Falensky yubileiny' | Фалёнский усатый / 'Falensky usaty' | Фалёнский кормовой / 'Falensky kormovoy' | Среднее по варианту (фактор C) / Average for the experiment (factor C) |
|---|---|---|--|---|---|
| Контроль / Control | Без обработки / Without treatment | 150,1±37,3 | 253,2±24,6 | 177,6±23,2 | 193,6±28,4 |
| Пионер / Pioneer | 1 | 150,1±34,6 | 259,5±17,1 | 172,0±21,0 | 194,1±24,2 |
| S. castalarensis A4 | 1 | 144,9±37,7 | 258,0±19,0 | 174,7±22,3 | 193,2±26,3 |
| | 2 | 146,9±35,2 | 264,0±19,2 | 177,1±26,2 | 196,0±26,9 |
| S. antimycoticus 8A1-3 | 1 | 147,2±37,8 | 254,6±23,8 | 173,8±25,6 | 191,9±29,1 |
| | 2 | 146,8±38,1 | 263,9±16,8 | 171,3±22,8 | 194,0±25,9 |
| Псевдобактерин-2 / Pseudobacterin-2 | 1 | 148,4±38,4 | 259,9±12,4 | 176,4±21,0 | 194,9±23,9 |
| | 2 | 146,1±37,4 | 257,5±15,3 | 174,9±23,1 | 192,8±25,3 |
| Среднее по фактору А (год) / Average by factor A (year) | | 2022 г. – 212,3±43,7; 2023 г. – 175,2±53,3 | | | |
| Среднее по фактору В (сорт) / Average by factor B (cultivar) | | 147,9±37,1 | 258,8±18,5 | 174,7±23,1 | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | | A = 7,5; B = 4,2; AB = 8,5; BC = 7,2 | | | |

Примечания: 1 – обработка семян; 2 – обработка семян и вегетирующих растений /
Notes: 1 – seed treatment, 2 – treatment of seeds and vegetative plants

Таблица 6 – Содержание сырого протеина в зерне гороха разных сортов, % (среднее за 2022-2023 гг.) /
Table 6 – Crude protein content in pea grains of different cultivars, % (average for 2022-2023)

| Вариант опыта / Variants of the experiment | | Фалёнский юбилейный / 'Falensky yubileiny' | Фалёнский усатый / 'Falensky usaty' | Фалёнский кормовой / 'Falensky kormovoy' | Среднее по варианту (фактор C) / Average for the experiment (factor C) |
|---|---|---|--|---|---|
| Контроль / Control | Без обработки / Without treatment | 23,1±2,9 | 19,5±1,5 | 21,8±2,3 | 21,5±2,2 |
| Пионер / Pioneer | 1 | 23,3±1,7 | 20,3±2,0 | 21,7±2,9 | 21,8±2,2 |
| S. castalarensis A4 | 1 | 23,1±2,0 | 20,3±2,7 | 21,3±2,4 | 21,6±2,4 |
| | 2 | 24,0±2,6 | 20,8±2,1 | 22,1±2,8 | 22,3±2,5 |
| S. antimycoticus 8A1-3 | 1 | 22,6±1,2 | 20,8±2,8 | 22,5±1,7 | 22,0±1,9 |
| | 2 | 23,4±1,9 | 21,1±1,7 | 22,2±2,5 | 22,2±2,0 |
| Псевдобактерин-2 / Pseudobacterin-2 | 1 | 23,4±1,0 | 20,9±2,4 | 21,6±1,8 | 22,0±1,7 |
| | 2 | 22,6±1,5 | 20,9±2,5 | 23,1±2,0 | 22,0±2,0 |
| Среднее по фактору А (год) / Average by factor A (year) | | 2022 г. – 20,4±1,6; 2023 г. – 23,5±1,2 | | | |
| Среднее по фактору В (сорт) / Average by factor B (cultivar) | | 23,2±1,9 | 20,6±2,2 | 22,0±2,3 | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | | A = 2,8; B = 0,7 | | | |

Примечания: 1 – обработка семян; 2 – обработка семян и вегетирующих растений /
Notes: 1 – seed treatment, 2 – treatment of seeds and vegetative plants

Большее влияние на показатель оказал фактор А «год», чем фактор В «сорт». Установлено также отрицательное влияние развития корневых гнилей на содержание сырого протеина

в зерне гороха (коэффициент корреляции $r = -0,77$). Соответственно максимальное содержание сырого протеина зафиксировано при совместной обработке семян и растений по

вегетации лабораторным образцом на основе *S. castalarensis* A4 (24,0±2,6 %) у сорта Фалёнский юбилейный, препаратом Псевдобактерин-2 (23,1±2,0 %) – у сорта Фалёнский кормовой, лабораторным образцом на основе *S. antimycoticus* 8A1-3 (21,1±1,7 %) – у сорта Фалёнский усатый

Заключение. Таким образом, исследования, проведенные в 2021–2023 гг. в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, показали, что лабораторные образцы на основе местных ризосферных штаммов *S. castalarensis* A4 и *S. antimycoticus* 8A1-3 в защите гороха от фузариозных корневых гнилей сопоставимы по эффективности

с действием коммерческих препаратов: химическим фунгицидом Пионер и биопрепаратом Псевдобактерин-2, но уступали химическому фунгициду Пионер в защите гороха от поражения аскохитозом бобов. При обработке семян и вегетирующих растений Псевдобактерином-2, штаммами бактерий *S. castalarensis* A4 и *S. antimycoticus* 8A1-3 продуктивность гороха увеличивалась на 5–6 %.

Обработка семян и растений гороха лабораторными образцами препаратов, изготовленных на основе природных изолятов стрептомицетов, как и коммерческими препаратами Пионер (химический фунгицид) и Псевдобактерин-2 (биопрепарат), не оказала отрицательного влияния на крупность зерна и содержание сырого протеина в зерне гороха.

Список литературы

1. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;(25(4)):381–387.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46249160> EDN: FAQBC
2. Градобоева Т. П. Корневые гнили гороха в условиях Кировской области. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019;(3(31)):51–58. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11114> EDN: HSZHGY
3. Лихачева Л. И., Гималетдинова В. С., Козионова Е. Г. Результаты селекции гороха в Уральском НИИСХ. Пермский аграрный вестник. 2017;(4(20)):87–91.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30767228> EDN: ZXHGNT
4. Давлетов Ф. А. Методы и результаты селекции гороха в Башкортостане. Уфа: Эпоха, 2006. 92 с.
5. Михайликова В. В., Стребкова Н. С. Динамика применения пестицидов в Российской Федерации. Агрохимия. 2023;(9):37–41. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188123090089> EDN: VYIKSQ
6. Долженко В. И., Лаптев А. Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. Плодородие. 2021;(3):71–75.
DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13> EDN: ZUQONQ
7. Коршунова Т. Ю., Бакаева М. Д., Кузина Е. В., Рафикова Г. Ф., Четвериков С. П., Четверикова Д. В., Логинов О. Н. Роль бактерий рода *Pseudomonas* в устойчивом развитии агросистем и защите окружающей среды (обзор). Прикладная биохимия и микробиология. 2021;57(3):211–227.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45070036> EDN: KFCGWR
8. Иванова И. Ю., Дементьев Д. А. Влияние микробиологических препаратов на урожайность яровой мягкой пшеницы. Теоретическая и прикладная экология. 2021;(2):128–133.
DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-128-133> EDN: HSSBDV
9. Rai R. V., Bai J. A. Natural Products from Actinomycetes: Diversity, Ecology and Drug Discovery. Mysore, Karnataka, India, 2022. 512 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6132-7>
10. Rateb M. E., Ebel R., Jaspars M. Natural product diversity of actinobacteria in the Atacama Desert. Antonie Van Leeuwenhoek. 2018;111:1467–1477. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10482-018-1030-z>
11. Quinn G. A., Banat A. M., Abdelhameed A. M., Banat I. M. Streptomyces from traditional medicine: Sources of new innovations in antibiotic discovery. Journal of medical microbiology. 2020;69(8):1040–1048. URL: <https://core.ac.uk/reader/359945540>
12. Caffrey P., Hogan M., Song Y. New glycosylated polyene macrolides: refining the ore from genome mining. Antibiotics. 2022;11(3):334. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11030334>
13. Seipke R. F., Kaltenpoth M., Hutchings M. I. Streptomyces as symbionts: an emerging and widespread theme? FEMS microbiology reviews. 2012;36(4):862–876. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00313.x>
14. Широких И. Г., Алалыкин А. А., Назарова Я. И. Изучение метаболитов актинобактерий для разработки биофунгицидов. Успехи медицинской микологии. 2022;(23):233–237.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49533157> EDN: RHMZIJ
15. Прнишникова Д. Н. Об удобрении поля в севооборотах. Избранные статьи. М.: Колос, 1962. 185 с.
16. Смирнова-Иконникова М. И. Биохимические особенности подвидов и сортов. Культурная флора России. Л.: Колос, 1979. Т. 4., Ч. 1. С. 174–188.

17. Пислегина С. С., Градобоева Т. П., Лыскова И. В. Содержание белка в зерне гороха в условиях Волго-Вятского региона. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. С. 114–118. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49534579> EDN: YYXHBV

References

1. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;(25(4)):381–387. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46249160>
2. Gradoboeva T. P. Root rots of peas in the conditions of the Kirov region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2019;(3(31)):51–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11114>
3. Likhacheva L. I., Gimaletdinova V. S., Kozionova E. G. Results of pea breeding at "Ural scientific and research institute of agriculture". *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2017;(4(20)):87–91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30767228>
4. Davletov F. A. Methods and results of pea breeding in Bashkortostan. Ufa: *Epokha*, 2006. 92 p.
5. Mikhaylikova V. V., Strebkova N. S. Dynamics of pesticide use in the Russian Federation. *Agrokimiya*. 2023;(9):37–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188123090089>
6. Dolzhenko V. I., Laptiev A. B. Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodie*. 2021;(3):71–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13>
7. Korshunova T. Yu., Bakaeva M. D., Kuzina E. V., Rafikova G. F., Chetverikov S. P., Chetverikova D. V., Loginov O. N. Role of bacteria of the genus *Pseudomonas* in the sustainable development of agricultural systems and environmental protection (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2021;57(3):211–227. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45070036>
8. Ivanova I. Yu., Dementiev D. A. Influence of microbiological preparations on yield of spring soft wheat. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2021;(2):128–133. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-128-133>
9. Rai R. V., Bai J. A. Natural Products from Actinomycetes: Diversity, Ecology and Drug Discovery. Mysore, Karnataka, India, 2022. 512 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6132-7>
10. Rateb M. E., Ebel R., Jaspars M. Natural product diversity of actinobacteria in the Atacama Desert. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2018;111:1467–1477. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10482-018-1030-z>
11. Quinn G. A., Banat A. M., Abdelhameed A. M., Banat I. M. Streptomyces from traditional medicine: Sources of new innovations in antibiotic discovery. *Journal of medical microbiology*. 2020;69(8):1040–1048. URL: <https://core.ac.uk/reader/359945540>
12. Caffrey P., Hogan M., Song Y. New glycosylated polyene macrolides: refining the ore from genome mining. *Antibiotics*. 2022;11(3):334. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11030334>
13. Seipke R. F., Kaltenpoth M., Hutchings M. I. Streptomyces as symbionts: an emerging and widespread theme? *FEMS microbiology reviews*. 2012;36(4):862–876. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00313.x>
14. Shirokikh I. G., Alalykin A. A., Nazarova Ya. I. Study of actinobacteria metabolites for the development of biofungicides. *Uspekhi meditsinskoy mikologii*. 2022;(23):233–237. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49533157>
15. Pryanishnikov D. N. About fertilizing the field in crop rotations. Selected articles. Moscow: *Kolos*, 1962. 185 p.
16. Smirnova-Ikonnikova M. I. Biochemical features of subspecies and varieties. Cultural flora of Russia. Leningrad: *Kolos*, 1979. Vol. 4., Part. 1. pp. 174–188.
17. Pislegina S. S., Gradoboeva T. P., Lyskova I. V. Protein content in pea grain in the conditions of the Volga-Vyatka region. Methods and technologies in plant breeding and crop production. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2016. pp. 114–118. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49534579>

Сведения об авторах

✉ **Лыскова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник лаборатории агрохимии и качества, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудникова», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Широких Ирина Геннадьевна, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудникова», ул. Ленина, 166а, Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3319-2729>

Назарова Янина Иордановна, кандидат биол. наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2945-5282>

Лыскова Татьяна Владимировна, инженер-аналитик лаборатории агрохимии и качества, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

Пислегина Светлана Сергеевна, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0553-7707>

Перевозчикова Галина Анатольевна, лаборант-исследователь лаборатории иммунитета растений, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru

Information about the authors

✉ **Irina V. Lyskova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Quality, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Irina G. Shirokikh, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, 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/0000-0002-3319-2729>

Yanina I. Nazarova, PhD in Biological Science, researcher, the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky, 610007 Kirov, Lenin str., 166a, Russia, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2945-5282>

Tatiana V. Lyskova, analyst engineer, the Laboratory of Agrochemistry and Quality, Falenki Breeding Station – Branch of «Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky», Timiryazeva str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

Svetlana S. Pislegina, researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Leguminous Plants, Falenki Breeding Station – Branch of «Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky», Timiryazeva str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0553-7707>

Galina A. Perevozshnikova, research assistant, the Laboratory of Plant Immunity, Falenki Breeding Station – Branch of «Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky», Timiryazeva str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654>



УДК 631.452:631.454:631.434.52

Паводковые седименты как источник пополнения аллювиальных почв элементами питания растений

© 2024. А. В. Ильинский, К. Н. Евсенкин, А. А. Павлов✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации
имени А. Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

Паводковая седиментация в условиях регулярного затопления поймы является ключевым фактором формирования аллювиальной почвы. Характер прохождения полых вод и их состав влияют на количественные и качественные характеристики паводковых седиментов, оказывая при этом существенное влияние на агроэкологическое состояние пойменного агроландшафта. Цель исследований – изучение роли паводковых седиментов в обогащении подстилающей аллювиальной почвы питательными элементами. Эксперимент проведен на мелиорируемых пахотных землях Рязанской области в 2023 году. Определение уровня седиментной нагрузки и отбор проб наилка осуществляли с помощью закрепленных на поверхности почвы пластиковых осадконакопительных пробоотборников, расположенных на расстоянии 200 м друг от друга (установка – 23 марта, продолжительность сбора седиментов – 42 дня до схода полых вод). Определен средний уровень седиментной нагрузки – 15,4 т/га, изучены агрохимические свойства паводковых седиментов и подстилающей почвы, проанализирована структура поступления в агроландшафт органического вещества, макро- и микроэлементов с паводковыми седиментами и их вынос с урожаем кукурузы на силос. Вместе с седиментами в почву поступило (кг/га): общего азота – 107,80, общего фосфора – 43,10, общего калия – 104,70, органического вещества – 2464,0, подвижного фосфора – 15,20, обменного калия – 17,80; микроэлементов (г/га): бора – 11,86, молибдена – 1,54, цинка – 122,74, марганца – 1215,06, меди – 200,20, кобальта – 52,05. С урожаем кукурузы на силос (36,1 т/га) вынос составил (кг/га): N – 105, P₂O₅ – 33, K₂O – 105. Проведенные исследования свидетельствуют о несомненной агрономической ценности паводковых седиментов, которые могут частично обеспечивать потребность растений в элементах питания, что позволит корректировать систему применения удобрений. В 2023 году масса поступивших веществ с паводковыми седиментами полностью покрыла потребность кукурузы по азоту, по подвижному фосфору потребность сократилась до 17,8 кг/га, по обменному калию – до 87,2 кг/га.

Ключевые слова: агроландшафт, агрохимические показатели, деградация почвы, плодородие, поступление элементов, удобрительное воздействие, экологическая безопасность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (тема № FGUF-2022-0008).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ильинский А. В., Евсенкин К. Н., Павлов А. А. Паводковые седименты как источник пополнения аллювиальных почв элементами питания растений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):645–654. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654>

Поступила: 13.03.2024

Принята к публикации: 02.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Flood sediments as a source of replenishment of alluvial soils with plant nutrition elements

© 2024. Andrey V. Ilinskiy, Konstantin N. Evsenkin, Artyom A. Pavlov✉

All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

Flood sedimentation in conditions of regular floodplain flooding is a key factor in the formation of alluvial soil. The nature of the passage of hollow waters and their composition affect the quantitative and qualitative characteristics of flood sediments, while having a significant impact on the agroecological state of the floodplain agricultural landscape. The aim of the research was to study the role of flood sediments in enriching the underlying alluvial soil with nutrients. The experiment was conducted on reclaimed arable lands of the Ryazan region in 2023. Determination of the sediment load level and sampling on the surface were carried out using plastic sedimentation samplers fixed on the soil surface, located at a distance of 200 m from each other. The installation was carried out on March 23, the duration of sediment collection was 42 days before the descent of the hollow waters. The average sediment load level of 15.4 t/ha was established, the agrochemical properties of flood sediments and underlying soil were studied, the structure of organic matter, macro- and microelements with flood sediments

and their removal from the corn harvest to silage was analyzed. Together with sediments the soil received (kg/ha): total nitrogen – 107.80, total phosphorus – 43.10, total potassium – 104.70, organic matter – 2464.0, mobile phosphorus 15.20, exchangeable potassium 17.80; trace elements (g/ha): boron – 11.86, molybdenum – 1.54, zinc – 122.74, manganese – 1215.06, copper – 200.20, cobalt – 52.05. With a corn harvest for silage of 36.1 kg/ha, the takeaway was: N – 105 kg/ha, P₂O₅ – 33 kg/ha, K₂O – 105 kg/ha. The conducted studies indicate the undoubted agronomic value of flood sediments, they can partially meet the need for fertilizers, therefore, it is necessary to take into account the mass of the substances used to carry out appropriate adjustments to the fertilizer application system. In 2023, the mass of incoming substances with flood sediments completely covered the need for nitrogen; for mobile phosphorus the need decreased to 17.8 kg/ha, for exchangeable potassium the need decreased to 87.2 kg/ha.

Keywords: agrolandscape, agrochemical indicators, soil degradation, fertility, intake of elements, fertilizing effect, environmental safety

Acknowledgments: this work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (theme No. FGUF-2022-0008).

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: Ilyinsky A. V., Evsenkin K. N., Pavlov A. A. Flood sediments as a source of replenishment of alluvial soils with plant nutrition elements. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):645–654. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654>

Received: 13.03.2024

Accepted for publication: 02.07.2024

Published online: 28.08.2024

По территории России протекает большое количество малых и крупных рек, благодаря этому пойменные почвы получили широкое распространение в различных почвенно-климатических зонах. В Нечерноземной зоне РФ пойменные земли составляют около 3 % от общей площади. Использование таких почв в сельском хозяйстве имеет большое практическое значение в обеспечении продовольственной безопасности. Излишне увлажненные пойменные земли могут использоваться только после проведения соответствующих мелиоративных мероприятий, которые должны учитывать особенности почвообразования в условиях поймы [1, 2, 3].

Процесс почвообразования пойменных почв одновременно сопровождается накоплением наилка, выпадающего на поверхность поймы во время ее затопления [4, 5, 6]. Накопление речных седиментов происходит неравномерно на разных участках поймы ввиду отличительных особенностей рельефа, удаленности от русла, концентрации взвешенных веществ в период половодья, скорости потока, мощности половодья и его продолжительности [7, 8, 9]. В прирусловой части поймы оседает больше всего галечник и песчаные частицы, в центральной и притеррасной пойме – илистые и пылевидные частицы. На территориях, расположенных в пойме р. Ока Рязанской области, наименьшая седиментная нагрузка приходится на естественные сенокосы, на пашне она выше, чем на лугах, за счет привнесения в пойму дополнительных материалов с пахотных земель [10].

Благодаря паводковым седиментам пойменные почвы обладают высоким плодородием

[11, 12, 13]. Мониторинг качественного состава паводковых седиментов является важной эколого-мелиоративной задачей. Учет элементов питания сельскохозяйственных культур, поступивших с седиментами, будет способствовать изучению биогеохимических циклов миграции биогенных элементов с целью сбалансированного воздействия на пойменные ландшафты и оптимизации производственных расходов, связанных с использованием минеральных удобрений [14, 15].

Результаты ранее проведенных мониторинговых исследований состояния аллювиальных почв Рязанского региона [15] свидетельствуют о выраженном процессе деградации почв. К ключевым причинам ухудшения агрономических характеристик почв относится несоблюдение научно обоснованных рекомендаций по ведению сельского хозяйства на пойменных почвах мелиорированных земель, глобальные климатические изменения, техногенное загрязнение окружающей среды. В целях достижения высокопродуктивного и экологически чистого растениеводства, снижения процессов деградации почв необходима разработка и внедрение рациональных способов сохранения и повышения плодородия аллювиальных почв при использовании многокомпонентных органоминеральных мелиорантов [16, 17]. Актуальность исследований заключается в том, что учет элементов питания растений, поступивших в почву с паводковыми седиментами, позволит скорректировать системы применения удобрений в технологии выращивания кормовых культур на пойменных землях.

Цель исследований – агрохимическая оценка влияния паводковой седиментации на пахотные земли агроландшафта поймы реки Ока.

Новизна исследований – паводковые седименты рассматриваются как источники обогащения аллювиальных почв не только макро-, но и микроэлементами. Кроме того, для определения седиментной нагрузки впервые использованы пробоотборники, имитирующие поверхность пашни, которые позволяют более точно находить уровень седиментной нагрузки, чем пластиковые маты, имитирующие травяной покров.

Материал и методы. Изучение влияния седиментной нагрузки на мелиорированные земли начато в весенний период 2023 года на стационарном участке наблюдений, расположенном в 5 километрах от границы г. Рязань (с. Шумашь). Выбор участка связан с тем, что в настоящее время на нем проводятся многолетние полевые исследования по восстановлению плодородия и повышению продуктивности почв. Территория исследований расположена в центральной части поймы с характерным для среднего течения р. Ока сегментно-грядистым рельефом и просадочным микрорельефом с ложбинно-западинными формами. Исследуемый участок пойменного агроландшафта является полностью освоенным, в 70-х годах прошлого века была построена осушительно-увлажнительная мелиоративная система, которая в настоящее время требует капитального ремонта.

Проведенные ранее исследования ВНИИ-ГиМ [10, 11] на данной территории свидетельствуют о поступлении питательных веществ на пашню с полыми водами в виде седиментов. На исследуемой территории распространены аллювиальные луговые среднесуглинистые почвы, которые характеризуются близкой к нейтральной реакцией среды, гидролитической кислотностью – 1,10 ммоль/100 г, повы-

шенной суммой поглощенных оснований – 18,2 ммоль/100 г, высокой степенью насыщенности основаниями – 94,3 %, повышенным содержанием подвижного фосфора – 123 мг/кг, низким – обменного калия 56 мг/кг [15].

Определение уровня седиментной нагрузки выполнено по оригинальной авторской методике (патент РФ №2815978 [18]) с помощью зафиксированных на рельефе четырех осадко-накопительных пробоотборников, представляющих собой ворсистые пластиковые маты, расположенные друг от друга на расстоянии 0,2 км. В целях получения наиболее объективной информации об уровне седиментной нагрузки на исследуемой территории места расстановки пробоотборников определяли с учетом всех форм микрорельефа (понижениями и повышениями). Размещение пластиковых матов на рельефе опытного участка выполнено 23 марта 2023 года, период экспозиции – 42 дня. Сразу после схода полых вод пластиковые маты удаляли с поверхности почвы, высушивали (до воздушно-сухого состояния наилка), осадок извлекали путем встряхивания матов и чисткой поверхности пластиковой лопаткой. Определяли массу седиментов. Одновременно отбирали почвенные образцы методом конверта на всю глубину пахотного слоя.

В седиментах определяли следующие агрохимические показатели: массовая доля общего азота – по ГОСТ 26715-85¹, общего фосфора – по ГОСТ 26717-85², общего калия – по ГОСТ 26718-85³; органического вещества – по ГОСТ 27980-88⁴, значение водородного показателя (рН_{KCl}) – по ПНД Ф 16.2:2.2.3:3.3.33-02⁵, гранулометрический состав – по ГОСТ 12536⁶; в почвах – значение водородного показателя (рН) – по ГОСТ 26483-85⁷, органического вещества – по ГОСТ 26213-21⁸, общего фосфора и

¹ГОСТ 26715-85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/30a/4294827739.pdf>

²ГОСТ 26717-85. Удобрения органические. Методы определения общего фосфора. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827737.pdf>

³ГОСТ 26718-85. Удобрения органические. Методы определения общего калия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 4 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827736.pdf>

⁴ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf>

⁵ПНД Ф 16.2:2.2.3:3.3.33-02. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений значения водородного показателя (рН) твердых и жидких отходов производства и потребления, осадков, шламов, активного ила, донных отложений потенциометрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 2005. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b49/4293800671.pdf>

⁶ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293766/4293766967.pdf>

⁷ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁸ГОСТ 26213-21. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

калия – по ГОСТ 26261-84⁹, общего азота – по ГОСТ 26107-84¹⁰. В почвах и седиментах определяли: содержание подвижного фосфора и обменного калия – по ГОСТ Р 54650-2011¹¹; микроэлементов: марганца – по ГОСТ Р 50682-94¹², цинка – по ГОСТ Р 50686-94¹³, меди – по ГОСТ Р 50684-94¹⁴, кобальта – по ГОСТ Р 50687-94¹⁵, молибдена – по ГОСТ Р 50689-94¹⁶, бора – по ГОСТ 50688-94¹⁷.

Доли поступления органического вещества, макро- и микроэлементов с седиментами от содержания в почве определяли исходя из массы почвы пахотного слоя, равной 3000 тонн.

Потребность растений в N, P₂O₅, K₂O в результатах исследований представлена как разница массы вынесенных веществ с урожаем кукурузы и массы веществ, поступивших с седиментами на поверхность почвы.

По данным гидропоста г. Рязани, на р. Оке за последние 23 года среднее значение максимального уровня воды в половодье соответствует 220 см выше нуля поста и отмечается обычно 18-19 апреля. Абсолютный максимум – 618 см (28.04.2013), что на 32 см ниже отметки начала подтопления жилых помещений. Весеннее половодье имеет однопиковый характер. Абсолютный максимум в 2023 году паводок достиг 6 апреля и составил 590 см, что приравнивается ко второму уровню неблагоприятного явления, при котором русло выходит из берегов и паводок квалифицируется как средний¹⁸.

Осень и начало зимы 2022 года характеризовались обильными осадками, выше климатической нормы, вследствие чего предзимнее увлажнение почв в бассейне р. Ока было в норме, а в некоторых местах переувлажнение почвы наблюдалось до 70 % выше нормы. Чередование оттепели и морозной погоды в период с декабря 2022 г. по январь 2023 г. местами способствовало образованию на полях ледяной корки. К середине февраля глубина промерзания почвы составила 40–87 см, что на 40 % выше февральской нормы. Высота снежного покрова и количество влаги в снеге всю зиму были ниже нормы, лишь к концу февраля, благодаря обильным снегопадам, запас воды в снеге приблизился к норме. Уровень воды в р. Ока в период зимнего паводка 2023 года был выше на 1,5 метра, чем в последние годы, но при таком уровне не наблюдается подтопления прилегающих территорий. После прохождения пика зимнего паводка, отметка воды к концу февраля 2023 года снизилась на 3 метра.

Весеннее половодье 2023 года по скорости подъема уровня воды за сутки можно разделить на четыре периода: с 12 по 14 марта отмечалось медленное, но стабильное повышение уровня в пределах 8–10 см; с 14 по 18 марта – подъем средней интенсивности – на 22–35 см; с 18 по 25 марта – период максимального подъема уровня воды на 40–56 см; с 25 марта по 6 апреля – замедление до 7–20 см за сутки и достижение пика¹⁹.

⁹ГОСТ 26261-84. Почвы. Методы определения валового фосфора и валового калия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. 13 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/a99/4294828203.pdf>

¹⁰ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/ef7/4294828346.pdf>

¹¹ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

¹²ГОСТ Р 50682-94. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 14 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/2ac/4294819404.pdf>

¹³ГОСТ Р 50686-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 13 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/963/4294819400.pdf>

¹⁴ГОСТ Р 50684-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 14 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294819/4294819402.pdf>

¹⁵ГОСТ Р 50687-94. Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 16 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/7ba/4294819399.pdf>

¹⁶ГОСТ Р 50689-94. Почвы. Определение подвижных соединений молибдена по методу Григга в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 10 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294819/4294819397.pdf>

¹⁷ГОСТ 50688-94. Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 16 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/24e/4294819398.pdf>

¹⁸Уровень воды в Оке (г. Рязань) сегодня. [Электронный ресурс].

URL: <https://allrivers.info/gauge/oka-ryazan/waterlevel> (дата обращения: 10.07.2023).

¹⁹Информация о сложившихся (к 20 февраля) и ожидаемых гидрометеорологических условиях на территории Рязанской области в преддверии весеннего половодья 2023 года. [Электронный ресурс].

URL: https://meteo62.ru/press-relizy/:polovode-2022_220309 (дата обращения: 04.06.2023).

Результаты и их обсуждение. Исследуемая территория расположена на пахотных землях, затапливаемых во время половодья. В весенний период после схода полых вод территория около одного месяца остается в подтопленном состоянии. При благоприятных климатических условиях почвы к полевым работам становятся готовыми ориентировочно в последней декаде мая. В условиях смещения агротехнических сроков исследуемый агроландшафт используется преимущественно для выращивания кукурузы на силос.

В ходе изучения процесса седиментации на участке стационарных наблюдений была отмечена неравномерность распределения седиментов по почвенному покрову. Одним из факторов, создающих условия распределения

седиментной нагрузки на одном и том же элементе строения поймы, выступает микро-рельеф. Исследования показали, что различие в массе накапливаемого наилка на понижениях или повышениях рельефа достигает 60 %. В ходе исследований среднее значение седиментной нагрузки составило 15,4 т/га при варьировании от 10,8 до 18,6 т/га в разных частях стационарного участка (рис. 1).

В сравнении с ранее проведенными исследованиями, выполненными в конце XX века П. И. Пыленком, можно отметить, что уровень седиментной нагрузки в текущем году был выше среднемноголетних значений на 2,5 т/га, при этом автор отмечает, что в условиях средневисоких половодий уровень может достигать 20–32 т/га [11].

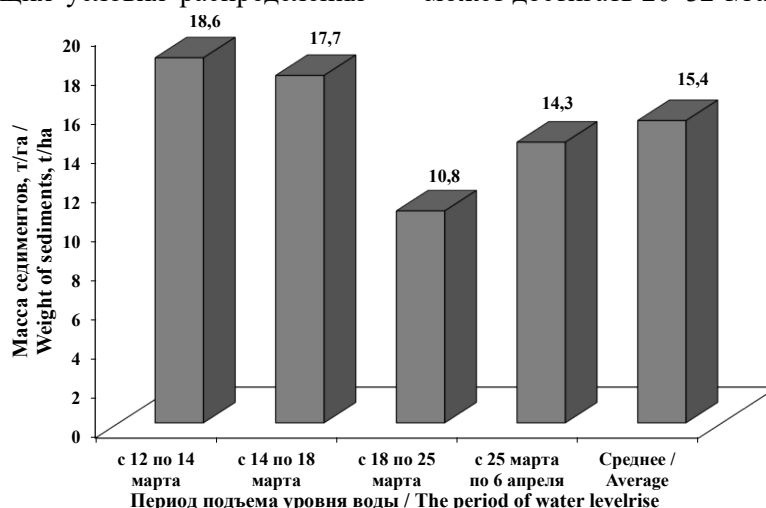


Рис. 1. Результаты определения уровня седиментной нагрузки на стационарном участке наблюдений, т/га (2023 г.) /
Fig. 1. The results of determining the sediment load level at the stationary observation site, t/ha (2023)

Анализ гранулометрического состава седиментов свидетельствует о преобладании пылеватых частиц, суммарное содержание которых составило 85,3 % от массы проб.

Отношение песчаных, пылеватых и глинистых частиц приблизительно оценивается как 1:213:36. Содержание песчаных частиц ниже в 36 раз, чем глинистых (рис. 2).

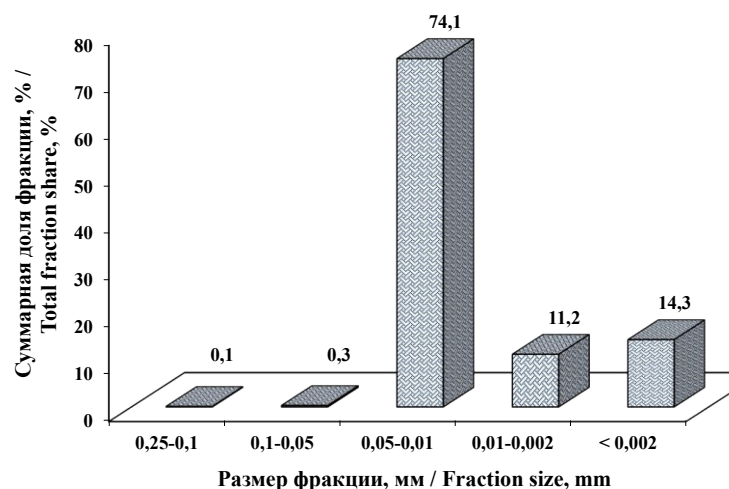


Рис. 2. Оценка гранулометрического состава паводкового седимента /
Fig. 2. Assessment of the granulometric composition of flood sediment

Пылеватые частицы представлены грубыми и тонкими частицами, находящимися в соотношении 6:1. Грубые составляют 86,8 % от массы пылеватых частиц, или 74,1 % от общей массы, тонкие – 13,2 % от массы пылеватых частиц, или 11,2 % от общей массы. Песчаные частицы представлены в виде мелкозернистых и тонкозернистых, а грубозернистые, крупнозернистые и среднезернистые фракции выявлены не были. Общее содержание песчаных частиц минимально и составляет 0,4 % от общей массы. В общей массе песчаных частиц преобладали тонкозернистые с содержанием 75 % от массы песчаных частиц, или 0,3 % от общей массы. Содержание глинистых частиц в седиментах в среднем составило 14,3 % от общей массы, они придают седиментам пластичность. Паводковый седимент классифицируется как

легкосуглинистый с содержанием 25,5 % физической глины и 74,5 % физического песка.

В своих многолетних исследованиях по изучению процесса седиментации П. И. Пыленок [11] отмечает, что при увеличении массы седиментов в их составе увеличивается доля песчаной фракции, в то же время доли глинистых и илистых фракций уменьшаются. Наши исследования подтвердили данное утверждение: в условиях среднего паводка при седиментной нагрузке 15,4 т/га соотношение физического песка и физической глины создает предпосылки, что паводковый седимент по гранулометрическому составу классифицируется как легкосуглинистый, ближе к среднесуглинистому.

Результаты химико-аналитических исследований паводкового седимента и подстилающей аллювиальной почвы представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Результаты определения содержания макроэлементов и органического вещества в паводковых седиментах и аллювиальной почве /
Table 1 – Results of determining the content of macroelements and organic matter in flood sediments and alluvial soil

| Показатель / Indicator | Ед. изм. / Unit of measurement | Седимент* / Sediment | Почва* / Soil | К содержанию в почве / To the content in the soil | | Масса поступивших веществ, кг/га / Mass of incoming substances, kg/ha |
|--|--------------------------------------|-------------------------|------------------|---|------|--|
| | | | | ± | % | |
| pH _{KCl} | ед. pH / units pH | 7,50±0,01 | 5,90±0,02 | 1,60 | 27 | - |
| Органическое вещество / Organic substance | % | 16,00±0,11 | 3,25±0,19 | 12,75 | 392 | 2464,00 |
| Общий фосфор / Total phosphorus | | 0,28±0,02 | 0,21±0,01 | 0,07 | 33 | 43,10 |
| Общий калий / Total potassium | | 0,68±0,05 | 2,61±0,12 | -1,93 | -74 | 104,70 |
| Общий азот / Total nitrogen | | 0,70±0,06 | 0,18±0,04 | 0,52 | 289 | 107,80 |
| Обменный калий / Exchangeable potassium | мг/кг / mg/kg | 1154,00±73,00 | 80,00±6,00 | 1074,00 | 1342 | 17,80 |
| Подвижный фосфор / Mobile phosphorus | | 990,00±98,00 | 109,00±11,00 | 881,00 | 808 | 15,20 |

*Измерение в четырех повторностях (среднее ± доверительный интервал, при $\alpha = 0,95$) /
 Measurement in four replicates (average ± confidence interval, at $\alpha = 0.95$)

Анализ результатов агрохимических исследований показал, что паводковые седименты характеризуются нейтральной реакцией среды и положительно влияют на снижение кислотности подстилающей почвы, а также являются весомым источником поступления в почву органического вещества, фосфора, калия и азота. Так, в седименте зафиксировано большее, по сравнению с пахотным слоем подстилающей

аллювиальной почвы, содержание обменного калия – в 14 раз; подвижного фосфора – в 9 раз; органического вещества – в 5 раз; общего азота – в 4 раза; общего фосфора – в 1,33 раза; меньшее содержание общего калия – в 3,84 раза.

Такое явное превосходство питательной ценности паводковых седиментов по сравнению с почвой может быть связано с их происхождением, поскольку наилок, который представляет

собой основную массу, является пограничным горизонтом на границе дно – вода, где накапливаются оседающие из воды частицы как минерального, так и органического происхождения. Кроме того, в состав паводковых седиментов включаются смываемые частицы с поверхности прирусловых пойменных почв, богатых элементами питания растений [19, 20, 21]. Концентрация подвижных форм фосфора и калия в паводковом седименте на порядок выше, чем в подстилающей аллювиальной почве, в то же время содержание общих форм этих элементов не имеет таких больших различий. Такая закономерность характерна для донных отложений, в виду того, что в них интенсивно протекают обменные геохимические процессы.

Доля поступления макроэлементов и органического вещества с седиментами от содержания в почве следующая: обменный калий – 7,41 %; подвижный фосфор – 4,65 %; органическое вещество – 2,53 %; общий азот – 2,00 %; общий фосфор – 0,68 %; общий калий – 0,13 %.

По результатам ранее проведенных исследований 1999 года [11], паводковые седименты обладали нейтральной реакцией среды, средним

содержанием подвижного фосфора 450 мг/кг, что в 2-3 раза больше содержания в почве, и обменного калия 420 мг/кг, что в 8 раз больше его содержания в почве, органического вещества 3,6–5,2 %. Полученные нами данные согласуются с результатами ранее проведенных исследований и подтверждают высокое содержание макроэлементов и органического вещества в паводковых седиментах.

Как показали исследования, паводковые седименты также являются и источником поступления в почву микроэлементов: содержание марганца, цинка, меди, кобальта и бора характеризуется как высокое, а молибдена – низкое (табл. 2). В седиментах зафиксировано большее по сравнению с пахотным слоем подстилающей аллювиальной почвы содержание следующих микроэлементов: цинка – в 2,4 раза, марганца – в 1,62 раза; кобальта, бора и меди примерно одинаковое количество; немного меньше, чем в почве содержание молибдена и меди. Доля поступления микроэлементов с седиментами от содержания в почве следующая: цинк – 1,24 %, марганец – 0,83 %, кобальт – 0,57 %, бор – 0,53 %, медь – 0,50 %, молибден 0,39 %.

Таблица 2 – Результаты определения микроэлементов в паводковых седиментах и аллювиальной почве /
Table 2 – The results of the determination of trace elements in flood sediments and alluvial soil

| Микроэлемент / Trace element | Ед. изм. / Unit of measurement | Седимент* / Sediment | Почва* / Soil | К содержанию в почве / To the content in the soil | | Масса поступивших веществ, г/га / Mass of incoming substances, g/ha |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------|---|--------|--|
| | | | | ± | % | |
| Бор / Boron | мг/кг / mg/kg | 0,77±0,01 | 0,75±0,01 | 0,02 | 2,66 | 11,86 |
| Молибден / Molybdenum | | 0,10±0,01 | 0,13±0,02 | -0,03 | -23,07 | 1,54 |
| Цинк / Zinc | | 7,97±0,19 | 3,31±0,10 | 4,66 | 140,78 | 122,74 |
| Марганец / Manganese | | 78,90±0,53 | 48,60±0,37 | 30,3 | 62,34 | 1215,06 |
| Медь / Copper | | 13,00±0,04 | 13,30±0,03 | -0,3 | -2,25 | 200,20 |
| Кобальт / Cobalt | | 3,38±0,08 | 3,07±0,06 | 0,31 | 10,09 | 52,05 |

*Измерение в четырех повторностях (среднее ± доверительный интервал, при $\alpha = 0,95$) /
 Measurement in four replicates (average ± confidence interval, at $\alpha = 0.95$)

Выращивание кукурузы на силос способствует интенсивному процессу минерализации органического вещества до 30,0 ц/га и значительному выносу макро- и микроэлементов с биомассой. В 2023 году на опытном участке урожайность кукурузы на силос составила 36,1 т/га, вынос питательных веществ (кг/га): N – 105, P₂O₅ – 33, K₂O – 105. Установлено, что масса поступивших веществ с паводковыми седиментами в 2023 году удовлетворила потреб-

ность растений в азоте полностью, по подвижному фосфору – на 46 %, при этом потребность сократилась до 17,8 кг/га, по обменному калию – на 17 % и до 87,2 кг/га соответственно.

Расчет поступления в аллювиальную почву за период весеннего половодья органического вещества, макро- и микроэлементов свидетельствует о высокой удобрительной ценности паводковых седиментов. При выращивании кукурузы на силос на пойменных землях павод-

ковые седименты не в полной мере способны обеспечить потребность растений в элементах питания. Необходимо учитывать массу поступивших веществ в годы затопления пойменных агроландшафтов полыми водами при корректировке системы применения удобрений.

Заключение. Проведено исследование наилка, оседающего в паводок на поверхности аллювиальной почвы в центральной части поймы р. Оки в Рязанской области. В исследованиях 2023 г. уровень седиментной нагрузки составил 15,4 т/га, паводковый седимент классифицировался как легкосуглинистый с содержанием физической глины 25,5 %. Полученные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями [11].

Обладая высоким содержанием органического вещества, фосфора, калия, азота, а также микроэлементов: бора, цинка, марганца,

меди, кобальта, паводковые седименты являются главным природным источником восполнения элементов питания подстилающей аллювиальной почвы и снижают её кислотность. В 2023 году при выращивании кукурузы на силос (урожайность 36,1 т/га) паводковые седименты полностью обеспечили потребность растений в азоте, частично – в подвижном фосфоре (на 46 %) и обменном калии (на 17 %).

Поскольку количество и состав седиментов зависят от характера паводка, то для получения объективной информации необходимы многолетние исследования, результаты которых могут служить основой для разработки рекомендаций по использованию адаптированной системы применения мелиорантов на пойменных сельскохозяйственных землях для повышения их продуктивности и получения экологически безопасной растениеводческой продукции.

Список литературы

1. Добровольский Г. В., Балабко П. Н., Стасюк Н. В., Быкова Е. П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия. Аридные экосистемы. 2011;(3(48)):5–13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17315485> EDN: OOXUFX
2. Кондерешко Э. П. Мировой опыт государственного регулирования эффективного использования мелиорированных земель в сельскохозяйственном производстве. Сборник научных трудов «Проблемы экономики». 2019;(2(29)):105–113. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42478179> EDN: FULJHA
3. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Химическая мелиорация на мелиорированных землях России. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021;(3(83)):73–78. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46620265> EDN: XUNNUR
4. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland). Open Geosciences. 2020;12(1):1036–1051. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0058>
5. Belčáková I., Offertálerová M., Vojtková J., Pauková Ž. The impact of floodplain vegetation on the erosion-sedimentation processes in fluvisols during flood events. Applied Ecology and Environmental Research. 2019;17(3):6349–6374. DOI: https://doi.org/10.15666/aer/1703_63496374
6. Remor M. B., Vilas Boas M. A., Sampaio S. C., Damatto S. R., Stevaux J. C., dos Reis R. R. Sedimentation rate and accumulation of nutrients in the Upper Paraná river floodplain. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2022;331:1019–1027. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-021-08153-5>
7. Воробьев А. Ю., Кривцов В. А., Кадыров А. С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2021;163(4):603–625. DOI: <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.4.603-625> EDN: AVNIXP
8. Подлесных И. В., Зарудная Т. Я. Оценка влияния противоэрозионных комплексов для сокращения выноса из агроландшафтов биогенных веществ с весенним стоком. Агрохимический вестник. 2019;(4):24–28. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10053> EDN: XOXFNP
9. Макавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: АН СССР, 1955. 346 с.
10. Новосельцев В. Н., Бесфамильный И. Б., Кизяев Б. М., Райнин В. Е., Виноградова Г. Н., Грэм Т., Добрачев Ю. П., Ильина Т. А., Коломийцев Н. В., Майсснер Р., Митрюхин А. А., Мюллер Г., Пыленок П. И., Фримель Ф. Х., Яхья А., Яшин В. М. Техногенное загрязнение речных экосистем. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
11. Пыленок П. И. Влияние седиментации на качество аллювиальной почвы в пойме реки Ока. Агрофизика. 2020;(4):7–13. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.04.02> EDN: DMANWI
12. Толкачев Г. Ю., Корженевский Б. И., Коломийцев Н. В. Мониторинг загрязнения категорий донных отложений для различных водных объектов Нечерноземной зоны. Экологические системы и приборы. 2023;(2):3–13. DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.2.2023.1350> EDN: GJJSIY
13. Лопатнюк А., Тиво П, Лопатнюк Л. Основные направления повышения эффективности использования мелиорированных земель в современных условиях. Аграрная экономика. 2023;(5(336)):22–33. DOI: <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2023-5-22-33> EDN: YEEDHZ
14. Силаев А. Л., Чекин Г. В., Смольский Е. В. Распределение микроэлементов в почвах пойменного ландшафта р. Унеча. Агрохимический вестник. 2021;(5):12–17. DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-5-003> EDN: YUTDGW

15. Ильинский А. В., Нефедов А. В., Евсенкин К. Н. Обоснование необходимости повышения плодородия мелиорированных аллювиальных почв АО "Московское". Мелиорация и водное хозяйство. 2019;(5):44–47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41411496> EDN: HRJEAR
16. Коломийцев Н. В., Матвеев А. В. Информационное обеспечение системы управления технологиями восстановления плодородия почв и рекультивации деградированных агроландшафтов. Экологические системы и приборы. 2021;(7):3–10. DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.07.2021.1236> EDN: ZRFCJG
17. Евсенкин К. Н., Ильинский А. В., Матвеев А. В. Новые способы повышения продуктивности почв мелиорированных сельскохозяйственных земель на основе применения биокомпостов. Плодородие. 2021;(4(121)):56–59. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.17> EDN: AMTRLN
18. Ильинский А. В., Евсенкин К. Н., Павлов А. А., Голубенко М. И. Способ контроля поступления тяжелых металлов и мышьяка в составе седиментной нагрузки на пахотные мелиорированные земли пойменного агроландшафта: пат. № 2815978 Российская Федерация. № 2023119944: заяв. 28.07.2023; опубл. 25.03.2024. Бюл. № 9. 2 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
19. Гречушников М. Г., Ломова Д. В., Ефимова Л. Е., Вишневская Г. Н. Обменные процессы на границе вододонные отложения в Истринском водохранилище в летний период. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015;(2):86–92. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23865605> EDN: UCGNMV
20. Тищенко П. Я., Борисенко Г. В., Барабанщиков Ю. А., Павлова Г. Ю., Рюмина А. А., Сагалаев С. Г., Семкин П. Ю., Тищенко П. П., Уланова (Заика) О. А., Швецова М. Г., Шкирникова Е. М. Оценка потоков биогенных веществ на границе раздела вода–дно в мелководных бассейнах залива Петра Великого (Японское море). Геохимия. 2022;67(9):881–895. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016752522090084> EDN: ILJBXJ
21. Гаврилов Д. А., Мамиров Т. Б., Растигеев С. А., Пархомчук В. В. История формирования и освоение человеком поймы реки Деркул (Западный Казахстан) в середине голоцена. Поволжская Археология. 2021;(3(37)):127–141. DOI: <https://doi.org/10.24852/pa2021.3.37.127.141> EDN: WIVVBX

References

1. Dobrovol'skiy G. V., Balabko P. N., Stasyuk N. V., Bykova E. P. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Aridnye ekosistemy* = Arid Ecosystems. 2011;(3(48)):5–13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17315485>
2. Kondereshko E. P. World experience in state regulation of efficient usage of meliorated lands in agricultural production. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy ekonomiki»*. 2019;(2(29)):105–113. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42478179>
3. Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E. Chemical reclamation in the reclaimed lands of Russia. *Puti povysheniya effektivnosti orosha-emogo zemledeliya*. 2021;(3(83)):73–78. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46620265>
4. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland). *Open Geosciences*. 2020;12(1):1036–1051. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0058>
5. Belčáková I., Offertálerová M., Vojtková J., Pauková Ž. The impact of floodplain vegetation on the erosion-sedimentation processes in fluvisols during flood events. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019;17(3):6349–6374. DOI: https://doi.org/10.15666/aer/1703_63496374
6. Remor M. B., Vilas Boas M. A., Sampaio S. C., Damatto S. R., Stevaux J. C., dos Reis R. R. Sedimentation rate and accumulation of nutrients in the Upper Paraná river floodplain. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2022;331:1019–1027. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-021-08153-5>
7. Vorobyev A. Yu., Krivtsov V. A., Kadyrov A. S. Current dynamics of accumulation and composition of alluvium in the near-channel floodplain of the Oka river (Russia). *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* = Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series. 2021;163(4):603–625. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.4.603-625>
8. Podlesnykh I. V., Zarudnaya T. Ya. Assessment of the impact of erosion control systems for the reduction of the removal of nutrients with spring runoff from agricultural lands. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(4):24–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10053>
9. Makaveev N. I. Riverbed and erosion in its basin. Moscow: AN SSSR, 1955. 346 p.
10. Novosel'tsev V. N., Besfamil'nyy I. B., Kizyaev B. M., Raynin V. E., Vinogradova G. N., Gremm T., Dobrachev Yu. P., Il'ina T. A., Kolomiitsev N. V., Mayssner R., Mitryukhin A. A., Myuller G., Pylenok P. I., Frimmel' F. Kh., Yakh'ya A., Yashin V. M. Man-made pollution of river ecosystems. Moscow: *Nauchnyy mir*, 2002. 140 p.
11. Pylenok P. I. Influence of sedimentation on alluvial soil quality in the Oka river floodplain. *Agrofizika* = Agrophysics. 2020;(4):7–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.04.02>
12. Tolkachev G. Yu., Korzhenevskiy B. I., Kolomiitsev N. V. Monitoring of pollution of sediments for various water bodies of the Non-chernozem zone. *Ekologicheskie sistemy i pribory* = Ecological Systems and Devices. 2023;(2):3–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.2.2023.1350>
13. Lopatnyuk A., Tivo P., Lopatnyuk L. The main directions for increasing the efficiency of the use of reclaimed lands in modern conditions. *Agrarnaya ekonomika* = Agrarian Economics. 2023;(5(336)):22–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2023-5-22-33>

14. Silaev A. L., Chekin G. V., Smolsky E. V. Microelements distribution in soils floodplain landscape of the Unecha river. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2021;(5):12–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-5-003>
15. Ilinskiy A. V., Nefedov A. V., Evsenkin K. N. Justification of the need to increase the fertility of reclaimed alluvial soils of JSC "Moskovskoe". *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2019;(5):44–47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41411496>
16. Kolomiitsev N. V., Matveev A. V. Infoware of control system for restoring soil fertility and recultivation of degraded agrolandscapes. *Ekologicheskie sistemy i pribory* = Ecological Systems and Devices. 2021;(7):3–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.07.2021.1236>
17. Evsenkin K. N., Ilinskiy A. V., Matveev A. V. New ways to increase soil productivity in reclaimed agricultural lands based on the application of biocompost. *Plodorodie*. 2021;(4(121)):56–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.17>
18. Ilinskiy A. V., Evsenkin K. N., Pavlov A. A., Golubenko M. I. A method for controlling the intake of heavy metals and arsenic as part of the sedimentation load on arable reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape: Patent RF, no. 2815978 2024. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet
19. Grechushnikova M. G., Lomova D. V., Efimova L. E., Vishnevskaya G. N. Exchange processes at the contact of water and bottom sediments in the Istra reservoir during the summer period. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* = Moscow University Bulletin. Series 5, Geography. 2015;(2):86–92. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23865605>
20. Tishchenko P. Ya., Borisenko G. V., Barabanshchikov Yu. A., Pavlova G. Yu., Ryumina A. A., Sagalaev S. G., Semkin P. Yu., Tishchenko P. P., Ulanova (Zaika) O. A., Shvetsova M. G., Shkirnikova E. M. Estimation of nutrient fluxes on the interface bottom water–sediments in shallow bights of the Peter the great bay, sea of Japan. *Geokhimiya*. 2022;67(9):881–895. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016752522090084>
21. Gavrilov D. A., Mamirov T. B., Rastigeev S. A., Parkhomchuk V. V. The history of formation and anthropogenic development of the Derkul river floodplain (West Kazakhstan) in the mid holocene. *Povolzhskaya Arkheologiya* = The Volga River Region Archaeology. 2021;(3(37)):127–141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24852/pa2021.3.37.127.141>

Сведения об авторах

Ильинский Андрей Валерьевич, кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, г. Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-9170>

Евсенкин Константин Николаевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0194-8552>

✉ **Павлов Артём Андреевич**, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5932-1624>, e-mail: kupoz@mail.ru

Information about the authors

Andrey V. Ilinskiy, PhD in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-9170>

Konstantin N. Evsenkin, PhD in Engineering, leading researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0194-8552>

✉ **Artyom A. Pavlov**, PhD in Biological Science, researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5932-1624>, e-mail: kupoz@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.655-663>

УДК 631.51



Влияние технологий возделывания яровой пшеницы на засоренность ее посевов и урожайность в условиях Нижегородской области

© 2024. А. В. Ивенин✉, В. В. Ивенин, Ю. А. Богомолова, С. М. Голубев, И. И. Бугров

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

В статье представлены результаты исследований по изучению влияния различных технологий возделывания яровой пшеницы на засоренность ее посевов и урожайность за 2022–2023 гг. в условиях Нижегородской области на светло-серой лесной суглинистой почве. Изучали технологии, различающиеся по способу основной обработки почвы (традиционная, минимальная – Mini-till, нулевая – No-till) и степени интенсификации (базовая, интенсивная). Яровую пшеницу сорта Злата возделывали в звене севооборота: чистый пар-горох-яровая пшеница. В период исследований установлено, что технология No-till способствовала повышению общей засоренности посевов яровой пшеницы в среднем за два года в фазу «кущение» (до обработки гербицидом) до 36,2 шт/м² (на 84,7 % выше общей засоренности посевов пшеницы при возделывании по технологии Mini-till и на 118,1 % – по традиционной технологии) и в фазу «полная спелость зерна» (перед уборкой) до 30,1 шт/м² (на 110,5 % выше общей засоренности посевов пшеницы по технологии Mini-till и на 155,1 % – по традиционной). Выявлено, что интенсификация производства пшеницы (внесение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₅₀K₅₀ под предпосевную культивацию; применение фунгицида и гербицида в фазу «кущение») приводит в среднем по изучаемым технологиям к уменьшению общей засоренности посевов в фазу «полная спелость зерна» в среднем за два года до 15,7 шт/м², что на 38,2 % ниже по сравнению с базовой степенью интенсификации технологий возделывания пшеницы. Установлено, что выращивание яровой пшеницы по традиционной технологии и технологии Mini-till позволяет получать высокую урожайность: 3,09–3,43 т/га, что на 0,63–0,96 т/га больше при возделывании по No-till. При возделывании яровой пшеницы по традиционной и Mini-till технологиям различий по уровню урожайности за годы наблюдений не выявлено. Интенсификация производства яровой пшеницы позволяет повысить уровень ее урожайности по каждой из изучаемой технологий.

Ключевые слова: традиционная технология, технология Mini-till, технология No-till, общая засоренность, засоренность многолетними сорняками, урожай

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет» (тема: № НИР в ЕГИСУ НИОКТР № 1023051100024-9-4.1.1; 4.1.6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ивенин А. В., Ивенин В. В., Богомолова Ю. А., Голубев С. М., Бугров И. И. Влияние технологий возделывания яровой пшеницы на засоренность ее посевов и урожайность в условиях Нижегородской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):655–663. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.655-663>

Поступила: 03.04.2024

Принята к публикации: 01.08.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The influence of cultivation technologies on the contamination of spring wheat crops and yield in the conditions of the Nizhny Novgorod region

© 2024. Alexey V. Ivenin✉, Valentin V. Ivenin, Yulia A. Bogomolova, Sergey M. Golubev, Ivan I. Bugrov

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

The article presents the results of research of the influence of various cultivation technologies on the contamination of spring wheat crops and its yield for 2022–2023 in the conditions of the Nizhny Novgorod region on light gray loamy forest soil. There were studied the technologies various in methods of primary soil tillage (traditional, minimal – Mini-till, without tillage – No-till), and intensification level (basic, intensive). Spring wheat of the 'Zlata' cultivar was cultivated in the chain of rotation: clean fallow – peas – spring wheat. During the research period, it was established that the No-till technology contributed to an increase in the total contamination of spring wheat crops on an average for two years in the "tillering" phase (before herbicide treatment) to 36.2 pcs/m² (84.7 % higher than the total contamination of wheat crops when cultivated using Mini-till technology and by 118.1 % – using traditional technology) and in the phase of "full grain ripeness" (before harvesting) up to 30.1 pcs/m² (110.5 % higher than the total contamination of wheat crops cultivated using Mini-till technology and by 155.1 % according to traditional technology). It has been established that intensification of wheat production (application of mineral fertilizers in a dose of N₇₀P₅₀K₅₀ before pre-sowing cultivation; using fungicide and herbicide in the "tillering" phase) results on average among studied technologies in decreasing the total contamination of crops during the "full grain ripeness" phase on average

for two years up to 15.7 pcs/m² which is 38.2 % lower compared to the basic intensification degree of wheat cultivation technologies. It was found that the cultivation of spring wheat using traditional technology and Mini-till technology provides high yields: 3.09–3.43 t/ha, that is 0.63–0.96 t/ha higher than its yield when cultivated using No-till technology. There were no differences in the level of yield of spring wheat over the years of observation when cultivating it using traditional and Mini-till technologies. The intensification of spring wheat production makes it possible to increase the level of its yield for each of the studied technologies.

Keywords: traditional technology, Mini-till technology, No-till technology, general contamination, contamination by perennial weeds, yield

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University of the Federal State Budgetary Educational Institution (theme: No. 1023051100024-9-4.1.1; 4.1.6).

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

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

For citation: Ivenin A. V., Ivenin V. V., Bogomolova Yu. A., Golubev S. M., Bugrov I. I. The influence of cultivation technologies on the contamination of spring wheat crops and yield in the conditions of the Nizhny Novgorod region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):655–663. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.655-663>

Received: 03.04.2024

Accepted for publication: 01.08.2024

Published online: 28.08.2024

Решение стратегических задач устойчивого развития агропромышленного комплекса в Нижегородской области невозможно без оптимизации, модернизации и адаптации новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур к зональным условиям [1, 2, 3].

Вместе с тем следует отметить, что Нижегородская область имеет ряд особенностей, основными из которых являются низкое естественное плодородие почв, нестабильность климатических условий (возврат холодов весной, ранние заморозки, засухи и т. д.), что способствует высокой неравномерности распределения во времени и пространстве факторов, предопределяющих вариабельность продуктивности сельскохозяйственных культур и яровой пшеницы в частности. Отсутствие научно обоснованных технологий, опирающихся на современные системы применения сельскохозяйственных машин и агрегатов, защиты растений, органических и минеральных удобрений, севооборотов, не позволяет реализовать биологический потенциал сортов сельскохозяйственных культур (в т. ч. и яровой пшеницы) в полном объеме и получать стабильно высокие и качественные урожаи [4, 5, 6, 7].

Решение указанных проблем предполагается за счет формирования научных основ разработки адресных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих максимальное использование почвенно-климатического потенциала региона возделывания при дифференцированном применении производственных средств [8, 9, 10].

Кроме того, важным решением является оптимизация технологий возделывания сельскохозяйственных культур (традиционной, Mini-till и No-till) с учетом их влияния на

засоренность посевов, которая выступает важной причиной снижения урожайности и качества товарной продукции сельскохозяйственных культур [11].

Система мер борьбы с сорной растительностью должна опираться на результаты картирования полей по засоренности, обследования посевного материала и почвенных образцов на засоренность семенами сорняков и обеспечивать повышение конкурентоспособности культурных растений в борьбе за факторы их жизни. В числе мер борьбы с сорняками – разработка научно обоснованных севооборотов и систем обработки почвы, применение пестицидов, профилактические мероприятия в соответствии с выбранными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур и яровой пшеницы в частности [9, 12, 13].

Цель исследований – провести сравнительную оценку различных технологий возделывания яровой пшеницы по влиянию на засоренность посевов и урожайность в почвенно-климатических условиях Нижегородской области.

Научная новизна – на основании изученных ресурсо- и энергосберегающих технологий возделывания яровой пшеницы (No-till и Mini-till) с разной степенью их интенсификации сформулированы и обоснованы научные выводы, позволяющие повысить эффективность выращивания яровой пшеницы в почвенно-климатических условиях Нижегородской области.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Нижегородского НИИСХ – подразделения Нижегородского государственного агротехнологического университета. Полевой опыт был заложен в двух закладках: 2020 и 2021 гг. В статье представлены результаты исследований по изучению

засоренности посевов яровой пшеницы и ее урожайности за 2022-2023 гг.

Исследования проводили в звене севооборота: 1. Чистый пар (в качестве «уравнительного» предшественника). 2. Горох. 3. Яровая пшеница.

Почва опытного участка светло-серая лесная среднесуглинистая по гранулометрическому составу, содержание подвижного фосфора и калия (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011¹) – соответственно 251 и 145 мг/кг, гумуса (по Тюрину, ГОСТ 26213-91²) – 1,5 %, рН_{KCl} (ГОСТ 26483-85³) – 5,7 ед. Общая площадь деланки – 180 м², учетная – 141 м². Расположение вариантов – систематическое. Повторность четырехкратная.

В опыте высевали яровую пшеницу сорта Злата.

Полевой опыт заложен по двухфакторной схеме: включает три технологии возделывания яровой пшеницы (фактор А), отличающихся по способу основной обработки почвы:

1) *традиционная* (контроль) – отвальная вспашка оборотным плугом Kuhn Multimaster 110 на 20–22 см;

2) *минимальная* (Mini-till) – обработка дисковой бороной Discover XM 44660 nothad на 10–12 см;

3) *нулевая* (No-till) – прямой посев сеялкой Sunflower 9421-20.

По каждой технологии (традиционной, Mini-till, No-till) определяли влияние степени ее интенсификации (фактор В): 1) *базовая* (контроль); 2) *интенсивная*.

Базовая степень включала – посев оригинальными семенами 1-го класса, обработанными фунгицидом (Скарлет, 0,4 л/т) и инсектицидом (Имидор Про, 1,0 л/т); обработку посевов баковой смесью гербицидов в фазу «кущение» (Грэнери, 0,015 кг/га и Примадонна, 0,7 л/га). При возделывании яровой пшеницы и гороха, как предшественника, по технологии No-till предусмотрена еще одна пожнивная обработка глифосатсодержащим гербицидом сплошного действия (Спрут экстра, 3 л/га) после уборки предшественника. Яровую пшеницу при базовой интенсификации технологий выращивали без применения минеральных удобрений.

Интенсивная степень включала – агротехнологические мероприятия, предусмотренные при базовой степени интенсификации технологий, с применением дополнительной обработки по вегетации фунгицидом Альпари в дозе 0,5 л/га совместно в баковой смеси с гербицидами (в фазу «кущение» яровой пшеницы, согласно регламенту применения данного препарата). По технологии No-till предусмотрена, дополнительно к базовой интенсификации, предпосевная обработка почвы глифосатсодержащим гербицидом сплошного действия (Спрут экстра, 3 л/га) до проведения (2022 г.) или непосредственно после проведения (2023 г.) посева яровой пшеницы. При интенсивном возделывании яровой пшеницы были внесены минеральные удобрения под предпосевную культивацию в дозе N₇₀P₅₀K₅₀ (смесь аммиачной селитры (34,4 %) и диаммофоски (10:26:26)).

Основные обработки почвы (зяблевая вспашка и дискование) проводили через 15 дней после уборки предшественника (уборка: 2022 г. – 15 августа; 2023 г. – 11 августа) и отрастания сорной растительности. Одновременно с проведением основных обработок почвы проводили пожнивную обработку стерни глифосатсодержащим гербицидом сплошного действия (Спрут экстра, 3 л/га) в вариантах опыта, где сельскохозяйственные культуры (горох, как предшественник, и яровая пшеница) возделывались по технологии No-till.

Система предпосевной обработки почвы под яровую пшеницу была одинаковой в вариантах с технологиями Mini-till и традиционной – ранневесеннее боронование БЗСС-1,0 на 4–6 см; культивация АКШ-4,2 на 10–12 см; предпосевная обработка АКШ-4,2 на 4–6 см. В варианте с технологией No-till вместо механических обработок проводили дополнительное «предпосевное» опрыскивание глифосатсодержащим гербицидом сплошного действия (Спрут экстра, 3 л/га).

Минеральные удобрения вносили вручную согласно схеме опыта под весеннюю предпосевную культивацию.

Все растительные остатки после уборки предшествующих культур измельчали комбайном Сампо-130 и оставляли в поле.

¹ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

²ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

³ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

Определение засоренности посевов яровой пшеницы проводили перед обработкой гербицидами по вегетации (в фазу «кущение») и после обработки в конце ее вегетации (в фазу «полная спелость зерна») количественным методом путем наложения рамок площадью 0,25 м². Урожай учитывали сплошным методом, поделаячно с пересчетом на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность. Математическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁴ с использованием компьютерной программы статистической обработки Statist.

Погодные условия вегетационного периода 2022 г. в целом были благоприятны для роста и развития яровой пшеницы: гидротермический коэффициент Селянинова составил 1,5, при среднемноголетнем значении данного показателя за исследуемый период 1,24. При этом необходимо отметить, что ГТК за июнь (0,8) был ниже средних многолетних значений (1,5). Несмотря на то, что ГТК на вегетационный период 2023 г. составил величину 1,3, при среднемноголетнем показателе 1,24, погодные условия вегетации яровой пшеницы в весенне-

летний период были неравномерными: май и июнь – засушливы (ГТК составил 0,6 и 0,8 соответственно); июль – с обильными осадками (ГТК = 2,2), что позволило сформировать хороший урожай зерна (налив зерна проходил в благоприятных условиях).

Результаты и их обсуждение. Засоренность посевов является одной из причин, существенно снижающих урожайность сельскохозяйственных культур.

Данные по учету засоренности посевов яровой пшеницы в начале вегетации (фаза «кущение») представлены в таблице 1.

В среднем за два года наблюдений, в фазу «кущение» (до обработки гербицидом), технология No-till способствовала повышению общей засоренности посевов яровой пшеницы сорной растительностью до 36,2 шт/м², что на 84,7 % (на 16,6 шт/м²) выше общей засоренности посевов пшеницы, возделываемой по Mini-till технологии, и на 118,1 % (на 19,6 шт/м²) – по традиционной (в 2022 г. соответственно на 17,2 и 19,0 шт/м², при НСР₀₅ по фактору А – 1,8; в 2023 г. – на 15,9 и 20,1 шт/м², при НСР₀₅ по фактору А – 2,1).

Таблица 1 – Засоренность посевов яровой пшеницы сорта Злата в фазу «кущение» в зависимости от технологии возделывания, шт/м² /

Table 1 – Contamination of crops of spring wheat of the 'Zlata' cultivar in the "tillering" phase, depending on the technology of cultivation, pcs/m²

| Технология возделывания (фактор A) / Cultivation technology (factor A) | Степень интенсификации технологии (фактор B) / Degree of technology Intensification (factor B) | 2022 г. | | 2023 г. | | Среднее / Average | |
|---|--|---|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| | | численность сорных растений / the number of weeds | | | | | |
| | | общая / total | многолет- ников / perennial | общая / total | многолет- ников / perennial | общая / total | многолет- ников / perennial |
| Традиционная / Traditional | Базовая / Basic | 14,8 | 4,8 | 16,2 | 5,2 | 15,5 | 5,0 |
| | Интенсивная / Intensive | 16,8 | 5,6 | 18,6 | 5,8 | 17,7 | 5,7 |
| | Среднее по фактору A / The average of factor A | 15,8 | 5,2 | 17,4 | 5,5 | 16,6 | 5,4 |
| Mini-till | Базовая / Basic | 16,3 | 6,0 | 20,3 | 8,7 | 18,3 | 7,4 |
| | Интенсивная / Intensive | 18,8 | 7,9 | 22,8 | 8,9 | 20,8 | 8,4 |
| | Среднее по фактору A / The average of factor A | 17,6 | 7,0 | 21,6 | 8,8 | 19,6 | 7,9 |
| No-till | Базовая / Basic | 33,2 | 27,2 | 36,2 | 29,3 | 34,7 | 28,3 |
| | Интенсивная / Intensive | 36,3 | 30,4 | 38,8 | 30,9 | 37,6 | 30,7 |
| | Среднее по фактору A / The average of factor A | 34,8 | 28,8 | 37,5 | 30,1 | 36,2 | 29,5 |
| Среднее по фактору B / The average of factor B | Базовая / Basic | 21,4 | 12,7 | 24,2 | 14,4 | 22,8 | 13,6 |
| | Интенсивная / Intensive | 23,9 | 14,6 | 26,7 | 15,2 | 25,4 | 14,9 |
| | Среднее / Average | 22,7 | 13,7 | 25,5 | 14,8 | 24,1 | 14,3 |
| НСР ₀₅ фактор A / HCR ₀₅ factor A | | 1,8 | 0,6 | 2,1 | 0,9 | 2,9 | 1,8 |
| НСР ₀₅ фактор B / HCR ₀₅ factor B | | 2,2 | 0,9 | 2,4 | 1,2 | 2,4 | 1,3 |
| НСР ₀₅ фактор AB / HCR ₀₅ factor AB | | 3,1 | 1,4 | 4,1 | 2,1 | 5,1 | 2,6 |

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Агропромиздат, 2011. 251 с.

Традиционная обработка также снижала уровень общей засоренности по сравнению с применением Mini-till технологии – в среднем на 3,0 шт/м² (18,1 %) (в 2022 г. – на 1,8 шт/м², НСР₀₅ по фактору А – 1,8; в 2023 г. – на 4,2 шт/м², НСР₀₅ по фактору А – 2,1).

Изменения засоренности многолетними сорняками в начале вегетации яровой пшеницы в зависимости от применения изучаемых технологий подчинены той же тенденции, что и изменения общей засоренности. Но необходимо отметить, что доля многолетних сорняков в среднем за два года наблюдений в посевах яровой пшеницы при возделывании по технологии No-till выше и составляет 81,5 %, тогда как их доля уменьшается с увеличением глубины основной обработки почвы: по технологии Mini-till составляет 40,0 %, по традиционной – 32,0 %.

Интенсификация производства пшеницы (в т. ч. внесение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₅₀K₅₀) приводит к небольшому, но статистически значимому увеличению общей засоренности посевов в начальные фазы развития культуры: в среднем за два года до 25,4 шт/м², что на 2,6 шт/м² выше (11,4 %) по сравнению

с базовой технологией возделывания пшеницы (в 2022 г. – на 2,5 шт/м², НСР₀₅ по фактору В – 2,2; в 2023 г. – на 2,5 шт/м², НСР₀₅ по фактору В – 2,4).

При этом нужно отметить, что достоверное увеличение общей засоренности посевов по каждой из технологий возделывания яровой пшеницы по годам исследования в начале вегетации (до проведения химической обработки посевов баковой смесью гербицида и фунгицида) не обнаружено (кроме 2022 г. при интенсификации технологии No-till: выявлено увеличение засоренности посевов в начале вегетации пшеницы при внесении минеральных удобрений до 36,3 шт/м², что на 3,1 шт/м² выше базовой технологии возделывания, при НСР₀₅ по фактору АВ – 3,1).

К концу вегетации яровой пшеницы в фазу «полная спелость зерна» общая засоренность посевов (в т. ч. засоренность многолетними сорняками) снижалась по каждой из изучаемых технологий возделывания, вследствие применения гербицидов и хорошего развития растений яровой пшеницы. При этом отмечено, что сорняки находились в угнетенном состоянии или в начальных фазах развития (табл. 2).

Таблица 2 – Засоренность посевов яровой пшеницы сорта Злата в фазу «полная спелость зерна» в зависимости от технологии возделывания, шт/м² /

Table 2 – Contamination of crops of spring wheat of the 'Zlata' cultivar in the "full grain ripeness" phase, depending on the technology of cultivation, pcs/m²

| Технология возделывания (фактор А) / Cultivation technology (factor A) | Степень интенсификации технологии (фактор В) / Degree of technology intensification (factor B) | 2022 г. | | 2023 г. | | Среднее / Average | |
|---|---|---|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| | | численность сорных растений / the number of weeds | | | | | |
| | | общая / total | многолет- ников / perennial | общая / total | многолет- ников / perennial | общая / total | многолет- ников / perennial |
| Традиционная / Traditional | Базовая / Basic | 12,3 | 3,9 | 14,2 | 4,3 | 13,3 | 4,1 |
| | Интенсивная / Intensive | 9,3 | 3,2 | 11,2 | 3,7 | 10,3 | 3,5 |
| | Среднее по фактору А / The average of factor A | 10,8 | 3,6 | 12,7 | 4,0 | 11,8 | 3,8 |
| Mini-till | Базовая / Basic | 14,2 | 4,2 | 18,1 | 5,4 | 16,2 | 4,8 |
| | Интенсивная / Intensive | 11,6 | 3,5 | 13,2 | 4,7 | 12,4 | 4,1 |
| | Среднее по фактору А / The average of factor A | 12,9 | 3,9 | 15,7 | 5,1 | 14,3 | 4,5 |
| No-till | Базовая / Basic | 36,1 | 24,7 | 35,2 | 30,1 | 35,7 | 27,4 |
| | Интенсивная / Intensive | 23,2 | 19,5 | 25,6 | 20,2 | 24,4 | 19,9 |
| | Среднее по фактору А / The average of factor A | 29,7 | 22,1 | 30,4 | 25,2 | 30,1 | 23,7 |
| Среднее по фактору В / The average of factor B | Базовая / Basic | 20,9 | 10,9 | 22,5 | 13,3 | 21,7 | 12,1 |
| | Интенсивная / Intensive | 14,7 | 8,7 | 16,7 | 9,5 | 15,7 | 9,2 |
| | Среднее / Average | 17,8 | 9,8 | 19,6 | 11,4 | 18,7 | 10,7 |
| НСР ₀₅ фактор А / HCR ₀₅ factor A | | 1,5 | 0,5 | 1,7 | 0,7 | 2,4 | 0,7 |
| НСР ₀₅ фактор В / HCR ₀₅ factor B | | 2,1 | 0,8 | 2,4 | 1,1 | 2,3 | 1,3 |
| НСР ₀₅ фактор АВ / HCR ₀₅ factor AB | | 3,3 | 1,2 | 3,9 | 1,9 | 3,5 | 4,1 |

В среднем за два года наблюдений, в фазу «полная спелость зерна» (перед уборкой), технология No-till способствовала повышению общей засоренности посевов яровой пшеницы сорной растительностью до 30,1 шт/м², что на 110,5 % (на 15,8 шт/м²) выше общей засоренности посевов пшеницы, возделываемой по технологии Mini-till, и на 155,1 % (на 18,3 шт/м²) – по традиционной технологии (в 2022 г. соответственно на 16,8 и 18,9 шт/м², при НСР₀₅ по фактору А – 1,5; в 2023 г. – на 14,7 и 17,7 шт/м², при НСР₀₅ по фактору А – 1,7).

Традиционная обработка также снижала уровень общей засоренности посевов яровой пшеницы в конце вегетации по сравнению с применением технологии Mini-till на 2,5 шт/м², или 21,2 % (в 2022 г. – на 2,1 шт/м², при НСР₀₅ по фактору А – 1,5; в 2023 г. – на 3,0 шт/м², при НСР₀₅ по фактору А – 1,7).

Изменения засоренности многолетними сорняками в конце вегетации яровой пшеницы в зависимости от применения изучаемых технологий подчинены той же тенденции, что и изменения общей засоренности. Но при этом необходимо отметить, что доля многолетних сорняков в среднем за два года наблюдений в посевах яровой пшеницы при возделывании по технологии No-till выше и составляет 78,7 % от общей засоренности, по технологиям Mini-till и традиционной – 31,5–32,2 % соответственно.

Интенсификация производства пшеницы (внесение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₅₀K₅₀, применение фунгицидной обработки) в конце ее вегетации приводит к снижению общей засоренности посевов (за счет повышения конкурентной способности растений пшеницы за факторы жизни): в среднем за два года до 15,7 шт/м², на 6,0 шт/м² (38,2 %) меньше по сравнению с базовой технологией возделывания пшеницы (в 2022 г. – на 6,2 шт/м², при НСР₀₅ по фактору В – 2,1; в 2023 г. – на 5,8 шт/м², при НСР₀₅ по фактору В – 2,4).

При этом достоверного изменения общей засоренности посевов по Mini-till и традиционной технологиям возделывания яровой пшеницы по годам исследования в конце ее вегетации не обнаружено. Интенсификация технологии No-till при возделывании пшеницы позволяет к концу вегетации снизить общую засоренность сорняками (в т. ч. и многолетними) в среднем за два года на 11,3 шт/м² (31,7 %). При интенсификации

No-till технологии в 2022 г. выявлено уменьшение засоренности посевов пшеницы в конце вегетации при внесении минеральных удобрений и фунгицидной обработке до 23,2 шт/м², что на 12,9 шт/м² меньше при возделывании по базовой технологии, при НСР₀₅ по фактору АВ – 3,3; в 2023 г. соответственно уменьшение до 25,6 шт/м², что на 9,6 шт/м² ниже базовой технологии, при НСР₀₅ по фактору АВ – 3,9).

Важным показателем результативности любой технологии выступает урожайность. В таблице 3 представлена урожайность яровой пшеницы Злата в зависимости от изучаемых факторов.

Возделывание яровой пшеницы в звене севооборота «чистый пар-горох-яровая пшеница» по традиционной технологии с использованием зяблевой вспашки на глубину 20–22 см и технологии Mini-till с дискованием на 10–12 см в качестве основной осенней обработки почвы позволило получить в среднем за два года высокую урожайность – 3,43 и 3,09 т/га соответственно (3,82 и 3,55 т/га – в 2022 г.; 3,04 и 2,63 т/га – в 2023 г.), что на 0,96 и 0,63 т/га в среднем за два года выше по сравнению с возделыванием по технологии No-till (средняя – 2,47 т/га; 2,75 т/га – в 2022 г.; 2,19 т/га – в 2023 г.). Различий по уровню урожайности яровой пшеницы по годам наблюдений при возделывании по традиционной и Mini-till технологиям не выявлено (разница находится в пределах ошибки опыта по фактору А в 2022 и 2023 гг.). Статистически значимое снижение урожайности отмечено при возделывании культуры по технологии No-till в сравнении с традиционной.

По степени интенсификации технологий: применение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₅₀K₅₀, обработка фунгицидом в фазу «кущение» (Альпари в дозе 0,5 л/га), по технологии No-till проведение дополнительной предпосевной гербицидной обработки (Спрут экстра, 3 л/га) позволяет повысить среднюю за два года наблюдений урожайность яровой пшеницы по сравнению с базовым уровнем интенсификации изучаемых технологий (традиционная; Mini-till; No-till) на 2,18 т/га (на 127,5 %) до 3,89 т/га. По годам исследований: 2022 г. – до 4,53 т/га (на 2,32 т/га выше базовой технологии, при НСР₀₅ по фактору В – 0,38); 2023 г. – до 3,24 т/га (на 2,04 т/га выше базовой технологии, при НСР₀₅ по фактору В – 0,36).

Таблица 3 – Урожайность яровой пшеницы сорта Злата в зависимости от технологии возделывания, т/га /
 Table 3 – Yield of spring wheat of the ‘Zlata’ cultivar depending on cultivation technologies, t/ha

| Технология возделывания (фактор А) / Cultivation technology (factor A) | Степень интенсификации технологии (фактор В) / Degree of technology Intensification (factor B) | 2022 г. | 2023 г. | Среднее / Average |
|---|---|---------|---------|----------------------|
| Традиционная / Traditional | Базовая / Basic | 2,89 | 2,32 | 2,61 |
| | Интенсивная / Intensive | 4,74 | 3,76 | 4,25 |
| | Среднее по фактору А / The average of factor A | 3,82 | 3,04 | 3,43 |
| Mini-till | Базовая / Basic | 2,54 | 1,87 | 2,21 |
| | Интенсивная / Intensive | 4,56 | 3,39 | 3,98 |
| | Среднее по фактору А / The average of factor A | 3,55 | 2,63 | 3,09 |
| No-till | Базовая / Basic | 1,20 | 1,80 | 1,50 |
| | Интенсивная / Intensive | 4,29 | 2,58 | 3,44 |
| | Среднее по фактору А / The average of factor A | 2,75 | 2,19 | 2,47 |
| Среднее по фактору В / The average of factor B | Базовая / Basic | 2,21 | 1,20 | 1,71 |
| | Интенсивная / Intensive | 4,53 | 3,24 | 3,89 |
| | Среднее / Average | 3,37 | 2,22 | 2,80 |
| НСР ₀₅ фактор А / HCR ₀₅ factor A | | 0,47 | 0,43 | 0,33 |
| НСР ₀₅ фактор В / HCR ₀₅ factor B | | 0,38 | 0,36 | 0,79 |
| НСР ₀₅ фактор АВ / HCR ₀₅ factor AB | | 0,66 | 0,63 | 1,03 |

Интенсификация производства пшеницы также позволяет повысить уровень урожайности по каждой из изучаемой технологии. При этом большая отдача от интенсификации производства выявлена при возделывании пшеницы по технологии No-till – в среднем за два года наблюдений урожайность повысилась на 1,94 т/га (на 129,3 %) по сравнению с базовым уровнем интенсификации технологии – до 3,44 т/га: в 2022 г. урожайность по интенсивной технологии выросла по сравнению с базовой на 3,09 т/га (НСР₀₅ АВ – 0,66), или 257,5 % – до 4,29 т/га; в 2023 г. – на 0,78 т/га (НСР₀₅ АВ – 0,63), или 43,3 % – до 2,58 т/га. Интенсификация производства пшеницы по традиционной технологии позволила повысить урожайность в среднем за два года на 1,64 т/га (62,8 %) – до 4,25 т/га: в 2022 г. – на 1,85 т/га (НСР₀₅ АВ – 0,66), или 64,0 % – до 4,74 т/га; в 2023 г. – на 1,44 т/га (НСР₀₅ АВ – 0,63), или 62,0 % – до 3,76 т/га. По технологии Mini-till соответственно в среднем за два года на 1,77 т/га (80,1 %) – до 3,98 т/га: в 2022 г. – на 2,02 т/га (НСР₀₅ АВ – 0,66), или 79,5 % – до 4,56 т/га; в 2023 г. – на 1,52 т/га (НСР₀₅ АВ – 0,63), или 81,3 % – до 3,39 т/га.

Таким образом, с уменьшением глубины основной обработки почвы степень интенсификации технологии в большей степени влияет на увеличение уровня урожайности яровой пшеницы.

Закключение. Установлено, что в среднем за два года наблюдений, технология No-till

способствовала повышению общей засоренности посевов яровой пшеницы: в фазу «кущение» (до обработки гербицидом) – до 36,2 шт/м² (на 16,6 шт/м², или 84,7 % выше общей засоренности по технологии Mini-till и на 19,6 шт/м², или 118,1 % – по традиционной); в фазу «полная спелость зерна» (перед уборкой) – до 30,1 шт/м² (на 15,8 шт/м², или 110,5 % выше общей засоренности посевов по технологии Mini-till и на 18,3 шт/м², или 155,1 % – по традиционной).

Выявлено, что интенсификация производства яровой пшеницы (внесение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₅₀K₅₀ и проведение дополнительной «предпосевной» обработки гербицидом сплошного действия по технологии No-till) приводит в начальные фазы развития (фаза «кущение») к небольшому (но статистически достоверному) увеличению общей засоренности посевов – в среднем за два года до 25,4 шт/м², что на 2,6 шт/м² выше (11,4 %) по сравнению с базовой технологией возделывания. Интенсификация производства пшеницы (внесение минеральных удобрений в дозе N₇₀P₅₀K₅₀, применение фунгицидной обработки и проведение дополнительной «предпосевной» обработки гербицидом сплошного действия по технологии No-till) приводит в конце ее вегетации (фаза «полная спелость зерна») к уменьшению общей засоренности посевов – в среднем

за два года до 15,7 шт/м², что на 6,0 шт/м² меньше (38,2 %) по сравнению с базовой степенью интенсификации.

Установлено, что выращивание яровой пшеницы в звене севооборота «чистый пар-горох-яровая пшеница» по традиционной и Mini-till технологиям позволило получить в среднем за два года исследований высокую урожайность: 3,09–3,43 т/га (3,55–3,82 т/га в 2022 г.; 2,63–3,04 т/га в 2023 г.), что на 0,63–0,96 т/га

в среднем за два года выше по сравнению с урожайностью, полученной при возделывании по технологии No-till (средняя 2,47 т/га: 2,75 т/га в 2022 г.; 2,19 т/га в 2023 г.). При возделывании яровой пшеницы по традиционной и Mini-till технологиям различий по уровню урожайности за годы наблюдений не выявлено.

Интенсификация производства яровой пшеницы позволяет повысить уровень ее урожайности по каждой из изучаемой технологии.

Список литературы

1. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г., Гостев А. В. Современный подход к систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения. Достижения науки и техники АПК. 2016;1(30):5–8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651218> EDN: TLFANT
2. Дей С. Опыт Канады: особенности прямого посева. Ресурсосберегающее земледелие. 2012;2(14):7–12. Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/225159>
3. Двуреченский В. И. Нулевые технологии: повышение эффективности производства зерна и почвенного плодородия. Агро XXI. 2007;(1-3):19–22. Режим доступа: <https://betaren.ru/news/nulevye-tehnologii-povyshenie-effektivnosti-proizvodstva-zerna-i-pochvennogo-plodorodiya/>
4. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Денисова А. В. Применение основных элементов ресурсосберегающих экологически безопасных технологий при выращивании яровых зернофуражных культур в центральной зоне Северо-Востока европейской части России. Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: сб. статей. Варшава: Институт технологических и естественных наук в Фалентах, 2018. С. 67–74.
5. Дриджер В. К., Стукалов Р. С., Гаджиумаров Р. Г., Вайцеховская С. С. Влияние севооборота на эффективность использования пашни при возделывании полевых культур без обработки почвы. Земледелие. 2019;(6):28–32. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10607> EDN: OUOSGE
6. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Иванов В. Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3(58)):43–48. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/130/130> EDN: YOQWYJ
7. Шаповалова Н. Н., Менькина Е. А. Агрохимическое состояние и биологическая активность почвы в последствии длительного применения минеральных удобрений. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(5(73)):43–46. DOI: <https://doi.org/10.25930/vaak-2r91> EDN: YNDPCX
8. Карабутов А. П., Соловиченко В. Д., Никитин В. В., Навольнева Е. В. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов. Земледелие. 2019;(2):3–7. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201> EDN: YXVHJJ
9. Ивнин А. В., Ивнин В. В., Шубина К. В., Саков А. П. Влияние технологии возделывания залежных земель на урожайность и энергетическую эффективность выращивания зерновых культур в условиях юго-востока Волго-Вятского региона. Аграрная наука. 2022;(7-8):121–125. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-212-125> EDN: TWVFMK
10. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Boyce A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability – A Review. Molecules. 2016;21(5):573. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
11. Антонов В. Г., Ермолаев А. П. Эффективность длительного применения минимальных способов обработки почвы в севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(4(65)):87–92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92> EDN: XVLNZJ
12. Борин А. А., Коровина О. А., Лощинина А. Э. Обработка почвы в севообороте. Земледелие. 2013;(2):20–22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18849344> EDN: PWMMLR

References

1. Cherkasov G. N., Pykhtin I. G., Gostev A. V. Modern approach to tillage systematization in agricultural technologies of new generation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;1(30):5–8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651218>
2. Dey S. Canada's experience: features of direct seeding. *Resursosberegayushchee zemledelie*. 2012;2(14):7–12. (In Russ.). URL: <https://rucont.ru/efd/225159>
3. Dvurechenskiy V. I. Zero technologies: improving the efficiency of grain production and soil fertility. *Agro XXI*. 2007;(1-3):19–22. (In Russ.). URL: <https://betaren.ru/news/nulevye-tehnologii-povyshenie-effektivnosti-proizvodstva-zerna-i-pochvennogo-plodorodiya/>
4. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Denisova A. V. The application of the main elements of resource-saving environmentally friendly technologies in the cultivation of spring grain crops in the central zone of the North-East of the European part of Russia. Problems of intensification of animal husbandry, taking into account environmental protection and the production of alternative energy sources, including biogas: collection of articles. Varshava: *Institut tekhnologicheskikh i estestvennykh nauk v Falentakh*, 2018. pp. 67–74.

5. Dridiger V. K., Stukalov R. S., Gadzhumarov R. G., Vaytsekhovskaya S. S. Influence of crop rotation on the efficiency of arable land use at the cultivation of field crops without soil tillage. *Zemledelie*. 2019;(6):28–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10607>
6. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Ivanov V. L. Improved resource-saving technology of soil cultivation and use of bio-preparations for spring cereals crops under conditions of central zone of North-East of European part of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3(58)):43–48. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/130/130>
7. Shapovalova N. N., Menkina E. A. Agrochemical state and biological activity of soil conditioned by the effect of long-term application of mineral fertilizers. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(5(73)):43–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25930/vaak-2r91>
8. Karabutov A. P., Solovichenko V. D., Nikitin V. V., Navolneva E. V. Reproduction of soil fertility, productivity and energy efficiency of crop rotations. *Zemledelie*. 2019;(2):3–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>
9. Ivenin A. V., Ivenin V. V., Shubina K. V., Sakov A. P. The influence of the technology of cultivation of fallow lands on the yield and energy efficiency of growing grain crops in the conditions of the south-east of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2022;1(7-8):121–125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-212-125>
10. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Boyce A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability – A Review. *Molecules*. 2016;21(5):573. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
11. Antonov V. G., Ermolaev A. P. The efficiency of continuous application of minimum soil tillage methods in crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(4(65)):87–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>
12. Borin A. A., Korovina O. A., Loshchinina A. E. Soil treatment in crop rotation. *Zemledelie*. 2013;(2):20–22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18849344>

Сведения об авторах

✉ **Ивенин Алексей Валентинович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7072-4029>, e-mail: a.v.ivenin@mail.ru

Ивенин Валентин Васильевич, доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6903-8312>

Богомолова Юлия Александровна, кандидат с.-х. наук, доцент, ст. научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3727-1157>

Голубев Сергей Михайлович, аспирант кафедры земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-0458-4267>

Бугров Иван Иванович, магистр кафедры земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-1704-9527>

Information about the authors

✉ **Alexey V. Ivenin**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, professor at the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7072-4029>, e-mail: a.v.ivenin@mail.ru

Valentin V. Ivenin, DSc in Agricultural Science, professor, Head of the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6903-8312>

Yulia A. Bogomolova, PhD in Agricultural Science, associate professor, senior researcher, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3727-1157>

Sergey M. Golubev, postgraduate student, the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-0458-4267>

Ivan I. Bugrov, master, the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 97, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-1704-9527>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673>



УДК 619:636.5:577.18:615.281.9

Эффективность использования фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек

© 2024. Н. А. Морозков¹, Е. В. Суханова¹✉, Р. В. Кайгородов², И. Н. Жданова¹,
Л. С. Терентьева¹

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал
ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский
университет», г. Пермь, Российская Федерация

Производители животноводческой и птицеводческой продукции все чаще используют в рационах кормовые добавки растительного происхождения в качестве способа повышения продуктивности и стабилизации защитных функций организма. Цель исследований заключалась в изучении эффективности использования кормовой фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек кросса Ломанн Браун-Лайт в возрасте 25–51 неделя. Для проведения эксперимента сформировали 3 группы кур-несушек. В состав комбикорма была включена фитодобавка из астрагала нутового в объеме: I опытная группа – 3,60 %, II опытная – 7,20 % по массе комбикорма. Продолжительность научно-производственного опыта составила 183 дня. Анализ содержания биологически активных веществ в фитодобавке из астрагала нутового выявил высокое содержание дегидрохверцетина – 336,25 мг/100 г абсолютно сухого вещества. В результате проведенных исследований установили, что у кур-несушек II опытной группы, получавшей в составе комбикорма 7,20 % фитодобавки из астрагала нутового, процессы обмена веществ в организме проходили более интенсивно, что способствовало получению от них большего эффекта. У кур-несушек II опытной группы по сравнению с контрольной и I опытной группами повышались значения коэффициента использования азота от принятого с кормом на 2,19 и 2,18 %, яйценоскости – на 2,81 и 1,10 %, снижались затраты комбикорма на 10 шт. яиц на 4,76 и 2,38 % соответственно. Уровень рентабельности производства яиц во II опытной группе по сравнению с контрольной и I опытной группами был выше на 3,83 и 5,16 % соответственно.

Ключевые слова: биологически активные вещества, дегидрохверцетин, комбикорм, баланс азота, яйценоскость, экономический эффект

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН (тема № 122030400198-6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Морозков Н. А., Суханова Е. В., Кайгородов Р. В., Жданова И. Н., Терентьева Л. С. Эффективность использования фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):664–673. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673>

Поступила: 23.04.2024

Принята к публикации: 08.08.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The effectiveness of using plant-based feed supplement made of *Astragalus cicer* in the diets of laying hens

© 2024. Nikolay A. Morozkov¹, Elena V. Sukhanova¹✉, Roman V. Kaigorodov²,
Irina N. Zhdanova¹, Lyudmila S. Terentyeva¹

¹Perm Research Institute of Agriculture – Branch of the Perm Federal Research Center of the
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm krai, Russian Federation

²Perm State National Research University, 15 Bukireva str., Perm, Russian Federation

Agricultural producers are increasingly using plant-based feed additives in the diets of livestock and poultry as a way to increase animal productivity and stabilize the protective functions of the body. The purpose of the research was to study the effectiveness of using *Astragalus cicer* feed supplement in the diets of laying hens of the Lohmann Brown-Light cross at the age of 25–51 weeks. The composition of the compound feed included a phytoadditive made from *Astragalus cicer* in the volume: I experimental group – 3.60 %, II experimental – 7.20 % by the weight of the compound feed. The duration of the scientific and

production experiment was 183 days. The analysis of the content of biologically active substances in the *Astragalus cicer* phytoadditive has revealed a high content of dihydroquercetin – 336.25 mg/100g of absolutely dry substance. As the result of the research, it was found that laying hens of the II experimental group, which received 7.20 % of *Astragalus cicer* phytoadditive in the compound feed, had more intensive metabolic processes in the body, which contributed to obtaining a greater effect from them. Laying hens of the II experimental group compared with the control and I experimental groups had 2.19 and 2.18 % higher values of nitrogen utilization out of taken feed, egg production was higher by 2.81 and 1.10 %, the cost of compound feed decreased by 10 pcs. eggs, that was by 4.76 and 2.38 %, respectively. The profitability level of egg production in the II experimental group was higher compared with the control and I experimental groups by 3.83 and 5.16%, respectively.

Keywords: biologically active substances, dihydroquercetin, compound feed, nitrogen balance, egg production, economic effect

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122030400198-6).

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

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

For citation: Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Kaigorodov R. V., Zhdanova I. N., Terentyeva L. S. The effectiveness of using plant-based feed supplement made of *Astragalus cicer* in the diets of laying hens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(4):664–673. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673>

Received: 13.04.2024

Accepted for publication: 08.08.2024

Published online: 28.08.2024

При ведении отраслей животноводства в условиях промышленной технологии актуальным для снижения отрицательного воздействия на организм животных факторов кормления и содержания становится использование кормовых фитодобавок для скота и птицы. Они позволяют нивелировать стресс-факторы, вызывающие угнетение состояния иммунной системы и создающие условия для развития заболеваний, связанных с обменом веществ [1].

Фитобиотики – вещества растительного происхождения, обладающие рядом биоактивных свойств. Оказывают разнообразное действие на организм животного – антимикробное, противовирусное, иммуномодулирующее, противогрибковое, противовоспалительное. Источниками биологически активных соединений (фенолы и флавоноиды) являются травы и продукты их переработки, такие как специи, эфирные масла и растительные экстракты. Фитопрепараты используют в кормлении животных с целью повышения их продуктивности и улучшения качества пищевых продуктов животного происхождения [2, 3, 4].

Как утверждают авторы [5, с. 479], «...в результате экспериментов, проведенных ранее, установлено, что введение в рацион лактирующих коров фитодобавки (в порошкообразной форме), содержащей экстракты растений *Raponticum carthamoides* (Willd.) *Iljin*, *Serratula coronata* L., *Filipendula ulmaria* L., не вызывают у животных негативных изменений со стороны морфологии, биохимии крови и клинического состояния».

Научно обосновано, что использование в кормлении животных фитогенных кормовых добавок способствует улучшению переваримости

кормов, в результате улучшаются коэффициенты конверсии корма и отмечается более высокое потребление сухого вещества рациона [6].

Производство полнорационных комбикормов, обогащенных белковыми добавками и биологически активными веществами, с максимальным использованием местных кормовых средств является основой совершенствования кормления сельскохозяйственной птицы [7, 8]. Экономически и технологически целесообразным источником обогащения рационов птицы полноценным белком, комплексом витаминов и каротиноидов, минеральных и других биологически активных веществ может служить кормовая фитодобавка из астрагала нутового.

Астрагал нутовый (*Astragalus cicer* L.) – крупное травянистое многолетнее растение рода Астрагал (*Astragalus*), принадлежащее семейству Бобовые (*Fabaceae*). Химический состав и питательная ценность астрагала нутового схожи с клевером и люцерной, но он содержит алкалоиды и сведения о его поедаемости животными разные. На пастбищах хорошо поедается животными лишь до цветения.

Астрагал нутовый содержит ряд ценных действующих биологически активных веществ, таких как алкалоиды, флавоноиды, сапонины, тритерпеноиды – вторичные метаболиты растений. «... помимо первичных метаболитов – углеводов, аминокислот, жирных кислот, хлорофиллов, цитохромов, нуклеотидов, а также соединений, являющихся интермедиатами различных метаболических реакций, растения содержат огромное количество веществ, которые не участвуют в основном обмене. Их принято называть вторичными метаболитами, или веществами вторичного происхождения. В отличие

от первичных метаболитов, присутствующих во всех растительных клетках, вторичные метаболиты могут быть специфичны для одного или нескольких видов растений» [9, с. 322.].

Цель исследований – изучить эффективность скормливания курам-несушкам кормовой фитодобавки из зелёной массы астрагала нутового в составе комбикорма. В задачи исследований входило: определить содержание некоторых биологически активных веществ в фитодобавке, рассчитать баланс азота, выявить яичную продуктивность и проанализировать экономическую эффективность производства яичной продукции.

Научная новизна – определены в фитодобавке из астрагала нутового биологически активные вещества: карбоновые и фенольные кислоты, флавоноиды. В результате скормливания биологически полноценного комбикорма

птице выявлено его влияние на яичную продуктивность и использование азота рациона.

Материал и методы. Для решения поставленных задач экспериментальную часть исследований проводили в лаборатории биологически активных кормов и аналитической лаборатории Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН, на кафедре физиологии растений и экологии почв Пермского государственного классического университета, на производственной базе ООО «Предуралье» Пермского края в 2023 году. Предметом исследования служила фитодобавка из астрагала нутового, включенная в состав полнорационного комбикорма ПК-1-1 и ПК-1-2 для кур-несушек: в первой опытной группе 3,60 %, во второй опытной – 7,20 %, контрольная группа получала типовой комбикорм ПК-1-1 по 47 неделю жизни и ПК-1-2 – свыше 47-недельного возраста (табл. 1).

Таблица 1 – Схема опыта по изучению эффективности использования фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек

Table 1 – Scheme of the experiment on studying the effectiveness of use Astragalus cicer phytoadditive in the diets of laying hens

| Группа / Group | Поголовье, гол. / The livestock, heads | Характеристика кормления / Feeding characteristics |
|---|---|---|
| Научно-производственный опыт / Scientific and production experiment | | |
| Контрольная / Control | 33 | ОР (комбикорм ПК-1-1, ПК-1-2) / OR (compound feed PK-1-1, PK-1-2) |
| Первая опытная / The first experimental | 33 | Кормосмесь № 1 (в составе которой 3,60 % фитодобавки из астрагала нутового) / Feed mixture No. 1 (which contains 3.60% of Astragalus cicer phytoadditive) |
| Вторая опытная / The second experimental | 33 | Кормосмесь № 2 (в составе которой 7,20 % фитодобавки из астрагала нутового) / Feed mixture No. 2 (which contains 7.20% of Astragalus cicer phytoadditive) |
| Физиологический опыт / Physiological experiment | | |
| Контрольная / Control | 5 | ОР (комбикорм ПК-1-1) / OR (compound feed PK-1-1) |
| Первая опытная / The first experimental | 5 | Кормосмесь № 1 (в составе которой 3,60 % фитодобавки из астрагала нутового) / Feed mixture No. 1 (which contains 3.60% of Astragalus cicer phytoadditive) |
| Вторая опытная / The second experimental | 5 | Кормосмесь № 2 (в составе которой 7,20 % фитодобавки из астрагала нутового) / Feed mixture No. 2 (which contains 7.20% of Astragalus cicer phytoadditive) |

Астрагал нутовый, как кормовую культуру, выращивали на опытном поле Пермского НИИСХ. Зеленую массу скашивали в фазу «бутонизация», с целью большего сохранения каротина подвяливание массы на поле не проводили, сушили зеленую массу при температуре 38-39 °С на линии сушки зерна до влажности 12 %, для измельчения до величины частиц 0,5-0,8 мм использовали кормоцех домашний универсальный (ДКУ-04 «Фермер»).

С целью снижения окисления каротина в фитодобавке в качестве антиокислителя использовали водный раствор 0,5%-ного пиросульфита натрия, т. е. 5 г порошка пиросульфита натрия на 1 кг фитодобавки, затем в смесителе сыпучих кормов СВШ-1,5 ингредиенты комбикорма тщательно перемешивали. По результатам анализа химического состава содержание каротина в заготовленной фитодобавке из астрагала нутового составляло 183,02±1,28 мг/кг

в 1 кг СВ, сырого протеина – 18,44 % в СВ, ОЭ – 9,94 МДж/кг в СВ.

В фитодобавке из астрагала нутевого был определён ряд биологически активных веществ с применением соответствующих методик. Содержание карбоновых кислот (щавелевая, яблочная, лимонная, янтарная) определяли методом капиллярного электрофореза согласно ГОСТ Р 56373-2015¹, аскорбиновой кислоты в соответствии с ГОСТ Р ЕН 14130-2010², фенольных и гидроксикоричных кислот (галловая, феруловая, кофейная кислоты) по методу [11], флавоноидов (рутин, дигидрокверцетин) по методу [12] обращенно-фазной ВЭЖХ со спектрофотометрической детекцией. Хроматографические анализы проводили на приборе «Ultimate 3000», Dionex, тип колонки Polar Advantage II C18, 2,1×150 мм, 3 мкм, 120 Å.

Предельно допустимое количество флавоноидов сверяли с данными нормативного документа³. Дозы нормирования биологически активных веществ в составе рациона (полнорационного комбикорма) для птицы рассчитывали с учетом рекомендаций В. А. Тутельяна, Б. П. Суханова [13].

В научно-производственном опыте продолжительностью 183 дня использовали кур-несушек кросса Ломанн Браун-Лайт в возрасте 25–51 недели, сформированные по методу параналогов согласно методикам Ш. А. Имангулова и В. И. Фисинина (2000, 2004)^{4, 5}. Для проведения эксперимента было сформировано 3 группы кур-несушек по 33 головы в каждой. В ходе научно-производственного опыта был проведен физиологический опыт продолжительностью 10 дней на 3 группах кур по 5 голов в каждой.

В целях экономии продовольственного зерна для опытных групп, согласно схеме

опыта, часть зернового ингредиента была заменена на равноценное количество энергетической и протеиновой питательности фитодобавки астрагала нутевого. Гранулированную кормосмесь (комбикорм) готовили в цехе комбикормов на агрегате ОГМ-1,5. Рационы разработаны с учётом фактического химического состава кормов⁶, удовлетворяющие потребности кур-несушек в питательных веществах в соответствии с существующими нормами кормления.

Кормление осуществляли сухими полнорационными комбикормами в две фазы. В возрасте 25–47 недель в комбикорме ПК-1-1 содержалось 11,87–11,99 МДж обменной энергии (по ГОСТ⁷ – 11,30 МДж) и 17,87–18,00 % сырого протеина (по ГОСТ⁸ – 16,50–18,00 %), в возрасте 48–51 недели в комбикорме ПК-1-2 – 11,40–11,53 МДж обменной энергии (по ГОСТ⁹ – 10,88 МДж) и 16,30–16,44 % сырого протеина (по ГОСТ¹⁰ – 15,50–17,00 %).

Кур-несушек опытных групп кормили приготовленной гранулированной кормовой смесью №1 и №2 в соответствии с рекомендуемыми нормами [14] – из расчёта 130 г/гол/сут. В ходе физиологического опыта фактическое суточное потребление курами-несушками основных питательных веществ составило: обменной энергии в контрольной группе – 1,330 МДж, в I опытной – 1,344 и II опытной – 1,339 МДж при норме 1,277 МДж; сырого протеина – 19,81–19,99–19,92 г соответственно при норме 19,20 г. У кур-несушек I и II опытных групп за счёт включения в состав комбикорма фитодобавки из астрагала нутевого наличие каротина в суточном рационе составило 1,87 и 3,74 мг соответственно, в рационе контрольной группы каротина не содержалось.

¹ГОСТ Р 56373-2015. Корма и кормовые добавки. Определение массовой доли органических кислот методом капиллярного электрофореза. М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293764/4293764800.pdf>

²ГОСТ Р ЕН 14130-2010. Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293800/4293800227.pdf>

³ТУ 930000-1899178-002-201. Фитобиотические кормовые добавки на основе экстрактов лекарственных растений: технические условия. Кемерово, 2018. 17 с.

⁴Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы: рекомендации. Ш. А. Имангулов, И. А. Егоров, Т. М. Околелова [и др.]. Под общ. ред. В. И. Фисинина, Ш. А. Имангулова. Сергиев Посад, 2000. 36 с.

⁵Фисинин В.И., Имангулов Ш.А. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы: рекомендации. Сергиев-Посад: ВНИТИП, 2004. 44 с.

⁶Методы анализа кормов. В. М. Косолапов, И. Ф. Драганов, В. А. Чуйков, Х. К. Худякова [и др.]. М.: Угрешская типография, 2011. 219 с.

⁷ГОСТ 18221-2018. Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. М.: Стандартинформ, 2018. 19 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293735/4293735613.pdf>

⁸Там же.

⁹Там же.

¹⁰Там же.

Условия содержания кур-несушек экспериментальных групп в период проведения опыта были одинаковыми с соблюдением технологических норм плотности посадки в типовых клеточных батареях КБН-1 и зооигиенических параметров микроклимата в соответствии с рекомендациями ВНИТИП¹¹.

Во время проведения опыта изучали показатели яичной продуктивности кур-несушек: яйценоскость – путем определения выхода яиц, шт.; яйценоскость на среднюю несушку, шт.; возраст достижения пика яйценоскости, недель; темп снижения яйценоскости, %; интенсивность яйцекладки, %; морфологические (масса яиц, г; толщина скорлупы, мм; выход яичной массы, кг; расход корма, кг).

Полученные экспериментальные данные подвергнуты биометрической обработке по Н. А. Плохинскому¹². Статистическую обработку полученных результатов проводили по методу Стьюдента, разницу считали достоверной при $p < 0,05$, $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Результаты и их обсуждение. Анализ содержания биологически активных веществ в фитодобавке проводили на кафедре физиологии растений и экологии почв Пермского государственного классического университета (табл. 2).

Из карбоновых кислот выделяется содержание яблочной кислоты – 786,60 мг/100 г а.с.в. фитодобавки, из флавоноидов – дегидрокверцетина – 336,25 мг/100 г а. с. в. фитодобавки из астрагала нутового.

**Таблица 2 – Содержание биологически активных веществ в фитодобавке из астрагала нутового, мг/100 г а.с.в. /
Table 2 – Content of biologically active substances in the Astragalus cicer phytoadditive (mg/100 g of absolutely dry substance)**

| № пробы / Sample number | Наименование биологически активных веществ / Name of biologically active substances | Содержание / Content |
|---------------------------------------|--|-------------------------|
| Карбоновые кислоты / Carboxylic acids | | |
| 1 | Щавелевая / Oxalic | 95,85 |
| 2 | Яблочная / Apple | 786,60 |
| 3 | Лимонная / Lemon | 331,36 |
| 4 | Янтарная / Amber | 240,78 |
| Витамины / Vitamins | | |
| 1 | Витамин С / Vitamin C | 85,79 |
| Фенольные кислоты / Phenolic acids | | |
| 1 | Галловая кислота / Gallic acid | 529,00 |
| 2 | Кофейная кислота / Caffeic acid | 351,50 |
| 3 | Феруловая кислота / Ferulic acid | 315,50 |
| Флавоноиды / Flavonoids | | |
| 1 | Рутин / Routines | 88,00 |
| 2 | Дегидрокверцетин / Dehydroquarcetin | 336,25 |

По мнению автора [15], для производства яиц и мяса птица используется около 40 % поступившего азота из сырого протеина рациона. Оставшиеся 60 % тратятся попусту и выделяются с пометом.

В таблице 3 представлен баланс и использование азота подопытными курами-несушками, усвоение которого было положительным

во всех группах. По сравнению с контрольной группой куры-несушки II опытной группы использовали азот от принятого на 2,19 % ($p < 0,001$) больше.

Согласно схеме опыта (табл. 1) содержание фитодобавки из астрагала нутового в кормосмеси кур-несушек I и II опытных групп составило по массе 3,60 и 7,20 % соответственно.

¹¹Найденский М. С., Кузнецов А. Ф., Храмов В. В., Виноградов П. Н. Зооигиена с основами проектирования животноводческих объектов. М.: КолосС, 2007. 512 с.

¹²Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 256 с.

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 3 – Суточный баланс и использование азота кормосмеси с фитодобавкой из астрагала нутевого подопытными курами-несушками (M±m, n = 5) /

Table 3 – Daily balance and nitrogen use of feed mixture containing Astragalus cicer phytoadditive by experimental laying hens (M±m, n = 5)

| Группа / Group | Показатель/ Indicator | | | | Баланс, г / Balance, g |
|------------------------------|--|------------------------------|-----------------------|--|---------------------------|
| | принято с кормом, г / taken with feed, g | выделено, г /excreted, g | | использовано от принятого, % / used from the taken, % | |
| | | с помётом / in the litter | с яйцом / with egg | | |
| Контрольная / Control | 3,17±0,04 | 1,61±0,11 | 0,90±0,05 | 49,37±0,17 | 0,66±0,03 |
| I опытная / I experimental | 3,20±0,08 | 1,62±0,09 | 0,89±0,07 | 49,38±0,31 | 0,69±0,05 |
| II опытная / II experimental | 3,19±0,05 | 1,55±0,18 | 0,94±0,03 | 51,56±0,12*** | 0,70±0,06 |

*** p<0,001;

По данным таблицы 3 следует, что скормливание кормовой фитодобавки из астрагала нутевого 7,20 % по массе комбикорма на голову в сутки курам-несушкам II опытной группы способствовало большему отложению белка корма в организме птицы. Куры-несушки I опытной группы меньше выделили азота с яйцом,

по сравнению с контрольной группой, на 1,12 %, но больше отложили белка в организме.

Включение в состав комбикорма кур-несушек опытных групп кормовой фитодобавки из астрагала нутевого оказало определенное влияние на яичную продуктивность птицы (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние кормосмесей с фитодобавкой из астрагала нутевого на яичную продуктивность птицы /

Table 4 – The effect of feed mixture containing Astragalus cicer phytoadditive on the egg production of poultry

| Показатель / Indicator | Группа / Group | | |
|--|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | контрольная / control | I опытная / I experimental | II опытная / II experimental |
| Возраст достижения пика яйценоскости, недель / Age at peak egg production, weeks | 37,20±0,07 | 36,90±0,09 | 36,10±0,07*** |
| Интенсивность яйценоскости при достижении пика, % / Egg production intensity at peak, % | 97,40 | 99,10 | 100,00 |
| Темп снижения яйценоскости, % / Rate of decrease in egg production, % | 1,09 | 0,92 | 0,82 |
| Яйценоскость на среднюю несушку, шт. / Egg production per average laying hen, pcs. | 178 | 181 | 183 |
| Масса яйца, г / Egg weight, g | 60,70±0,12 | 60,70±0,13 | 61,30±0,08* |
| Толщина скорлупы, мм / Shell thickness, mm | 0,37±0,02 | 0,37±0,02 | 0,38±0,2 |
| Получено яичной массы на среднюю несушку, кг / Produced egg mass per average laying hen, kg | 10,80±0,03 | 10,90±0,05 | 11,22±0,04** |
| Интенсивность яйцекладки, % / Oviposition intensity, % | 93,74 | 94,92 | 97,76 |

*p<0,05; **p<0,01; *** p<0,001

Отмечена более высокая яйценоскость кур-несушек I и II опытных групп на 1,7 и 2,6 % соответственно по сравнению с курами контрольной группы. В I и II опытных группах кур-несушек проявился на 1 неделю раньше выход на пик яйценоскости и более медленным темпом снижения яйцекладки по сравнению с контролем. За период научно-производственного опыта

получено яичной массы в среднем на несушку в I и II опытных группах больше на 1,76 и 3,89 % (p < 0,01) по сравнению с аналогами контрольной группы.

В результате использования в кормлении кур-несушек кормовой фитодобавки из астрагала нутевого позволило получить определенный экономический эффект (табл. 5).

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 5 – Показатели экономической эффективности при использовании в кормлении кур-несушек фитодобавки из астрагала нутового /
Table 5 – Economic effectiveness indicators when using Astragalus cicer phytoadditive in feeding laying hens

| Показатель / Indicator | Группа/ Group | | |
|---|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| | контрольная / control | I опытная / I experimental | II опытная / II experimental |
| Поголовье кур-несушек, гол. / Number of laying hens, heads | 33 | 33 | 33 |
| Яйценоскость на 1 ср. несушку, шт. / Egg production per 1 average laying hen, pcs. | 178 | 181 | 183 |
| Валовое производство яиц, шт. / Gross egg production, pcs. | 5874 | 5973 | 6039 |
| Товарное яйцо, % / Marketable egg, % | 98,39 | 96,52 | 99,90 |
| Затраты комбикорма по группе, кг/ Feed costs per group, kg | 773,00 | 766,80 | 742,70 |
| Стоимость комбикорма, руб./кг / Feed cost, rub. /kg | 33,70 | 33,70 | 33,70 |
| Общая стоимость комбикормов, тыс. руб. / The total cost of feed, thousand rub. | 26,050 | 25,841 | 25,029 |
| Затраты корма на 10 яиц, кг/ Feed costs per 10 eggs, kg | 1,32 | 1,29 | 1,26 |
| Затраты корма на 1 кг яичной массы, кг / Feed costs per 1 kg of egg mass, kg | 2,21 | 2,21 | 2,09 |
| Стоимость яиц в ценах реализации, тыс. руб. / Cost of eggs in sales prices, thousand rub. | 49,124 | 48,728 | 50,013 |
| Затрачено фитодобавки, кг / Spent phytoadditive, kg | - | 18,117 | 36,234 |
| Стоимость фитодобавки, тыс. руб. / Cost of phytoadditive, thousand rub. | - | 0,308 | 0,616 |
| Стоимость кормов, тыс.руб. / Cost of feed, thousand rub. | 26,050 | 26,149 | 25,645 |
| Полная себестоимость яиц, тыс. руб. / Total cost of eggs, thousand rub. | 43,764 | 43,930 | 43,084 |
| Прибыль по группе, тыс. руб. / Group profit, thousand rub. | 5,360 | 4,798 | 6,929 |
| ± к контролю, тыс. руб. / ± to control, thousand rub | - | - 0,562 | + 1,569 |
| Экономическая эффективность за период научно-производственного опыта на 1 голову/руб. / Economic efficiency for the period of scientific and production experiment per 1 head/ rub. | - | - | 47,55 |
| Уровень рентабельности, % / Profitability level, % | 12,25 | 10,92 | 16,08 |

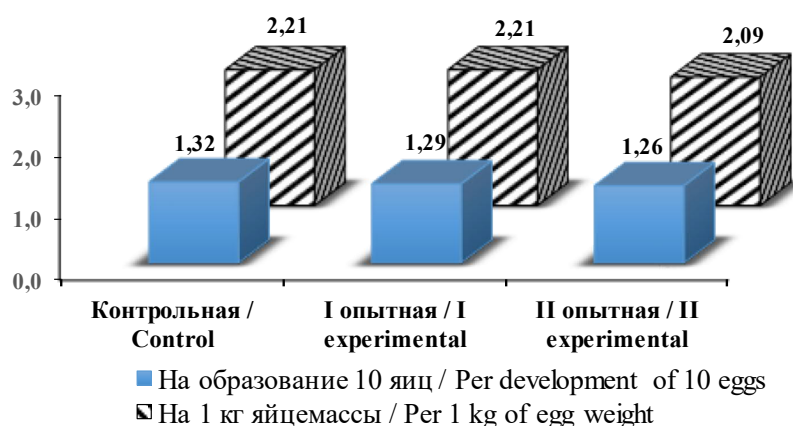
За учётный период во II опытной группе был более высокий выход товарных яиц по сравнению с контрольной и I опытной группами на 1,51 и 3,38 % соответственно, что способствовало получению большей выручки от реализации яиц на 1,81 и 2,64 % соответственно.

Конверсия корма организмом несушек на 1 кг произведённой яичной массы во II опытной группе, по сравнению с аналогами контрольной и I опытной, получена выше на 5,43 %, на образование 10 яиц во II и I опытной группах – на 4,55 и 2,38 % соответственно по сравнению с контролем. Лучший результат отмечен во II опытной группе птицы, получавшей в составе комбикорма 7,20 % фитодобавки из астрагала нутового (рис.).

Ввиду того, что товарность (по категории яиц) яиц кур-несушек I опытной группы была

ниже по сравнению с контрольной, то и прибыль в I опытной группе получили меньше на 11,71 %. Прибыль от реализации яиц во II опытной группе получили больше по сравнению с контролем на 1,81 %. Уровень рентабельности производства яиц во II опытной группе был выше по сравнению с контрольной и I опытной группами на 3,83 и 5,16 % соответственно.

Таким образом, исследованиями установлено, что введение в состав комбикорма кур-несушек II опытной группы, в котором содержится кормовой фитодобавки из астрагала нутового 7,20 % по массе комбикорма, способствовало получению более высокого экономического эффекта по сравнению с контролем – 47,55 руб. на 1 голову за период научно-производственного опыта.



*Рис. Конверсия корма с фитодобавкой из астрагала нутового курами-несушками в яичную продукцию /
Fig. Conversion of feed containing Astragalus cicer phytoadditive into egg products by laying hens*

Заключение. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что у кур-несушек II опытной группы, по сравнению с аналогами I и контрольной групп, при включении в состав комбикорма кормовой фитодобавки из астрагала нутового в объеме 7,20 % по массе комбикорма процессы обмена веществ в организме проходили более интенсивнее, что повлияло и на рентабельность производства куриного яйца.

При анализе содержания биологически активных веществ в фитодобавке из астрагала нутового в суммарном содержании флавоноидов значительно выделяется дегидрокверцетин – 336,25 мг/100 г а.с.в. массы.

Наиболее полно азот корма усваивали куры-несушки II опытной группы, коэффициент использования азота от принятого составил 51,56 % ($p < 0,001$), что больше по сравнению с контрольной и I опытной – на 2,19 и 2,18 % соответственно.

За период научно-производственного опыта более высокие показатели яйценоскости получены во II опытной группе – 183 шт. яиц, что на 2,81 % выше контрольной и на 1,10 % по сравнению с I опытной группой. Для получения 10 шт. яиц затрачено комбикорма, кг: 1,32 – контрольная; 1,29 – I опытная; 1,26 – II опытная. Наименьший расход комбикорма отмечен у кур-несушек II опытной группы, что меньше показателя контрольной на 4,76 % и на 2,38 % – I опытной группы.

Экономическая целесообразность использования фитодобавки из астрагала нутового в рационе кур-несушек II опытной группы за период научно-производственного опыта подтверждена дополнительной прибылью – 47,55 руб. на 1 несушку по сравнению с контролем. Рентабельность производства яиц во II опытной группе была выше по сравнению с контрольной и I опытной группами на 3,83 и 5,16 % соответственно.

Список литературы

1. Бушов А. В., Курманаева В. В. Биопрепараты в рационах цыплят-бройлеров кросса Смена-7. Птицеводство. 2012;(1):31–33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17668198> EDN: OWQLWT
2. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. 2020. pp. 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
3. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. Biomedicines. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
4. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. Archives of Toxicology. 2021;95:673–691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
5. Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Применение Фитодобавки лактирующим коровам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):255–262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262> END: HFOSGY

6. Багно О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. И., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(4):687–697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus> EDN: UZBLPC
7. Зудяева Т. Г., Воробьева Г. И., Кудрявцев А. Е., Григораш А. И., Неминушая Л. А. Влияние добавки Флоравит на микрофлору ЖКТ бройлеров. *Птицеводство*. 2013;(1):37–38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18890009> EDN: MSSCKL
8. Швыдков А. Н., Кобцева Л. А., Килин Р. Ю., Тареева И. А., Ланцева Н. Н. Влияние молочнокислой кормовой добавки на лизоцимную активность в кишечнике животных. *Птицеводство*. 2014;(4):22–25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21593423> EDN: SENTIR
9. Хелдт Г. В. Биохимия растений: пер. с англ. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011. 471 с.
10. Костомахин Н. М., Иванов А. Травяная мука – белковый и витаминный корм. *Комбикорма*. 2013;(6):71–73.
11. Моисеев Д. В. Определение фенольных кислот в растениях методом ВЭЖХ. *Химия растительного сырья*. 2014;(3):171–174. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1403171> EDN: TGUFRC
12. Моисеев Д. В., Шелюто В. Л., Бузук Г. Н. Идентификация флавоноидов в растениях методов ВЭЖХ. *Химико-фармацевтический журнал*. 2011;45(1):35–38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23152773> EDN: PPIJD
13. Тутельян В. А., Суханов Б. П. Современные подходы к обеспечению качества и безопасности биологически активных добавок к пище в Российской Федерации. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2009;(1):12–19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12610325> EDN: KPYTGZ
14. Фисинин В. И., Егоров И. А., Околелова Т. А., Имангулов Ш. А. Кормление сельскохозяйственной птицы. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2010. 375 с.
15. Schutte J. B., Van Der Klis J. D. Veevoed kundi gemoge lijkhed enomdestikstof – enfos foruits cheiding bijpluim veetere duceren. In: *Naar veehouderij en milieu in balans 10 jaar FOMA onderzoek*, 1994, Ede, 4. Oktober.

References

1. Bushov A. V., Kurmanava V. V. Bio-preparations in diets for Smena-7 broilers. *Ptitsevodstvo*. 2012;(1):31–33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17668198>
2. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health*. 2020. pp. 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
3. Dinan L., Diou W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
4. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;95:673–691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
5. Ivanovsky A. A., Latushkina N. A. The use of Phytoadditive in lactating cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):255–262. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>
6. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. I., Dyadichkina T. V. Use of phytobiotics in farm animal feeding (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(4):687–697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>
7. Zudyaeva T. G., Vorob'eva G. I., Kudryavtsev A. E., Grigorash A. I., Neminushchaya L. A. The effect of the Floravit supplement on the gastrointestinal microflora of broilers. *Ptitsevodstvo*. 2013;(1):37–38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18890009>
8. Shvydkov A. N., Kobtseva L. A., Kilin R. Yu., Tareeva I. A., Lantseva N. N. Influence of Lactic Feed Additive on Intestinal Lysozyme Activity in Animals. *Ptitsevodstvo*. 2014;(4):22–25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21593423>
9. Kheldt G. V. Biochemistry of plants: translated from English. Moscow: BINOM, *Laboratoriya znaniy*, 2011. 471 p.
10. Kostomakhin N. M., Ivanov A. Herbal flour is a protein and vitamin food. *Kombikorma*. 2013;(6):71–73. (In Russ.).
11. Moiseev D. V. Determination of phenolic acids in plants by HPLC. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2014;(3):171–174. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.1403171>
12. Moiseev D. V., Shelyuto V. L., Buzuk G. N. Identification of flavonoids in plants by HPLC. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal = Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2011;45(1):35–38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23152773>

13. Tutel'yan V. A., Sukhanov B. P. Modern approaches to the maintenance of quality and safety of biologically active additives in the Russian Federation. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal* = Pacific Medical Journal. 2009;(1):12–19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12610325>

14. Fisinin V. I., Egorov I. A., Okolelova T. A., Imangulov Sh. A. Feeding of poultry. Sergiev Posad: *VNITIP*, 2010. 375 p.

15. Schutte J. B., Van Der Klis J. D. Veevoed kundi gemoge lijkhed enomdestikstof – enfos foruits cheiding bijpluim veetere duceren. In: Naar veehouderij en milieu in balans 10 jaar FOMA onderzoek, 1994, Ede, 4. Oktober.

Сведения об авторах

Морозков Николай Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3454-7843>

✉ **Суханова Елена Валерьевна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0419-1126>, e-mail: elene831@mail.ru

Кайгородов Роман Владимирович, кандидат биол. наук, доцент, доцент кафедры физиологии растений и экологии почв, ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», ул. Букирева, д. 15, г. Пермь, Российская Федерация, 614068, e-mail: rector@psu.ru

Жданова Ирина Николаевна, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, 614532, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0260-6917>

Терентьева Людмила Сергеевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Пермский район, Российская Федерация, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3958-1717>

Information about the authors

Nikolay A. Morozkov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3454-7843>

✉ **Elena V. Sukhanova**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Agricultural Research Institute - branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0419-1126>, e-mail: elene831@mail.ru

Roman V. Kaigorodov, PhD in Biological Science, associate professor, associate professor at the Department of Plant Physiology and Soil Ecology, Perm State National Research University, 15 Bukireva str., Perm, Russian Federation, 614068, e-mail: rector@psu.ru

Irina N. Zhdanova, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Research Institute of Agriculture, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury str., 12, Lobanovo village, Perm Krai, Perm district, Russian Federation, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0260-6917>

Lyudmila S. Terentyeva, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Agricultural Research Institute -branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pnish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3958-1717>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.674-682>

УДК 636.22/.28:636.082.24/.251



Совершенствование признаков молочности в хозяйствах и племенная ценность быков-производителей при оценке по качеству потомства

© 2024. Н. А. Попов✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Представлены исследования по сравнению уровней показателей скороспелости и молочной продуктивности дочерей быков-производителей голштинской породы, проходящих оценку по качеству потомства одновременно в двух племенных заводах Московской области. Согласно официальным рейтингам показателей племенной ценности, быков разделили на группы «улучшающих» и «ухудшающих». Соотношение поголовья дочерей «лучших» и «худших» быков-производителей по хозяйствам составляло – 511:568 и 160:127 голов. Определяли, какие величины разностей показателей «дочь – мать» удалось повысить в группах официально оцененных быков, получивших оценки «улучшателей» и «ухудшателей» по признакам в этих двух племенных заводах. Проверяемые быки закреплялись индивидуально, а по числу пар как основные. При первом осеменении дочери «улучшающей» группы быков обладали повышенной живой массой на 6,5–8,5 кг, но были относительно старше на 0,36–0,6 месяца. По признакам удой, суммарный выход молочного жира и белка высокорейтинговые отцы в племенных заводах по проявлению признаков значительно уступали конкурентам с низкой племенной ценностью по удою на 688–1136 кг, по разности «мать – дочь» по суммарному выходу молочного жира и белка за лактацию — на 43,1–97,3 кг. В одном из хозяйств разности «дочь – мать» по удою во всех кластерах быков увеличились на 599–1275 кг молока, по МДЖ — на 0,02–0,20%, по МДБ — на 0,19–0,31%; в другом хозяйстве увеличение составило по удою на 43,8–1551 кг молока и 0,05–0,13% по МДБ. Дочери «худших» отцов по МДЖ и МДБ значительно превосходили группу дочерей «лучших» отцов по разностям «дочь – мать» на 35,6 и 61,7 кг суммарного выхода молочного белка и жира за 305 дней лактации. При этом значительных различий между дочерьми и сверстницами не выявлено. Доказана относительность официального определения величин племенной ценности быков-производителей. Предложено независимо от «коммерческих» и ранее проведенных оценок быков-производителей учитывать индексы родословных и виды подбора при их выведении. Сделаны выводы о значительном влиянии фактора и методов подбора на величины признаков молочности. С целью экономии затрат на выращивание предложено оптимизировать живую массу и возраст осеменения телок в хозяйствах.

Ключевые слова: голштинская порода, живая масса, возраст первого плодотворного осеменения, удой, МДЖ, МДБ, индивидуальный подбор, рейтинг племенной ценности

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-2024-0013).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Попов Н. А. Совершенствование признаков молочности в хозяйствах и племенная ценность быков-производителей при оценке по качеству потомства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):674–682.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.674-682>

Поступила: 15.03.2024

Принята к публикации: 05.08.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Improvement of dairy characters in farms and breeding value of the breeding bulls when assessing the quality of offspring

© 2024. Nikolay A. Popov✉

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, pos. Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

The article presents studies on comparison of the levels of precocity and milk productivity indicators of the daughters of Holstein bulls, who are evaluated for the quality of offspring simultaneously in two breeding plants of the Moscow region. According to the official ratings of breeding values, the bulls were divided into groups of "improving" and "worsening". The ratio of the daughters of the "best" and "worst" breeding bulls was 511:568 and 160:127 heads over the farms. It was determined which values of the differences in the "daughter – mother" indicators were increased in groups of officially

evaluated bulls that received ratings of "improvers" and "deteriorators" according to the characteristics in these two breeding plants. The bulls being tested were fixed individually, and according to the number of pairs as the main ones. At the first insemination, the daughters of the "improving" group of bulls had 6.5–8.5 kg increased live weight of, but were relatively older by 0.36–0.6 months. According to the milk yield trait, the total yield of milk fat and protein, highly rated fathers in breeding plants were significantly inferior to competitors with low breeding value in milk yield by 688–1136 kg, according to the difference "mother – daughter" in the total yield of milk fat and protein per lactation – by 43.1–97.3 kg. In one of the farms, the "daughter – mother" differences in milk yield in all bull clusters increased by 599–1275 kg of milk; according to mass fat fraction (MFF) — by 0.02–0.20% and for mass protein fraction (MPF) — by 0.19–0.31%; in another farm, the increase in milk yield was by 43.8–1551 kg of milk and 0.05–0.13% according to the MPF. The daughters of the "worst" fathers in terms of MFF and MPF significantly outperformed the group of daughters of the "best" fathers in terms of "daughter–mother" differences by 35.6 and 61.7 kg of total milk protein and fat output over 305 days of lactation. At the same time, there were no significant differences between daughters and peers. The relativity of the official definition of the values of the breeding value of breeding bulls has been proved. It is proposed, regardless of the "commercial" and previously conducted estimates of breeding bulls, to take into account the indices of pedigrees and types of selection when breeding them. Conclusions are drawn about the significant influence of the factor and selection methods on the values of milk production traits; in order to save growing costs, it is proposed to optimize the live weight and age of insemination of heifers in farms.

Keywords: Holstein breed, live weight, age of the first fruitful insemination, milk yield, MFF, MPF, individual selection, rating of breeding value

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. FGGN-2024-0013).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

For citation: Popov N. A. Improvement of dairy characters in farms and the breeding value of the breeding bulls when assessing the quality of offspring. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):674–682. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.674-682>

Received: 15.03.2024

Accepted for publication: 05.08.2024

Published online: 28.08.2024

Успех селекции определяется точностью оценок селекционно-генетического потенциала родительских пар, направленностью их отбора. Вторым, не менее важным фактором, выступает родство особей и состояние изменчивости признаков селекции по стаду [1, 2]. На это обстоятельство среди телок и коров-первотелок в условиях группового подбора, на наш взгляд, следует обратить внимание, потому что большая часть ремонтного молодняка поступает от этой категории маток. Селекционеры племенных заводов особенно тщательно изучают родословные всех категорий быков-производителей и не допускают «слепого» группового подбора, руководствуясь только всегда отличной характеристикой потенциальных продолжателей стада из числа проверяемых по качеству потомства, либо уже широко используемых, имеющих «рекламную» геномную оценку [2, 3].

В племенных заводах ФГУП «Пойма» и СПК имени Ленина Луховицкого района Московской области такие аспекты селекции, как признаки молочной продуктивности и скороспелости приобрели первостепенное значение. Важен своевременный анализ фона показателей дочерей быков-производителей голштинской породы в нашей стране согласно их официальным оценкам, и одновременно использованных на племязаводах, имеющих достаточное потомство с законченной первой лактацией [4, 5].

Селекционная значимость скороспелости всех видов сельскохозяйственных животных является одной из первостепенных характеристик и не вызывает сомнений. В молочном скотоводстве признаки «прирост живой массы», «возраст первого плодотворного осеменения» в биолого-технологическом и экономическом аспектах взаимосвязаны. Их уровень соизмеряют с наиболее весомыми для производства показателями «продуктивность и состав молока», «производственное долголетие», «стоимость скотоместа» и другие [1, 6]. Этим, вероятно, и можно объяснить позицию селекционеров хозяйств к признакам скороспелости не как к первоочередной задаче, а как относящейся к более глобальной – совершенствованию признака во всей породе. В этой связи считаем целесообразным совместить работу с комплексным признаком скороспелости с характеристиками величин, определяющих племенную ценность быков-производителей, которую вычисляют по результатам оценок качества потомства [7, 8].

Прямого выделения доли их взаимовлияния, либо сопряженности пока не достигнуто. Поэтому согласно имеющейся базе данных показателей в двух племенных стадах провели выборку групп дочерей быков-производителей. Следует заметить, что до их использования в этих стадах лишь треть быков имела оценки по качеству потомства, однако далее всем

быкам-производителям были присвоены племенные категории по итогам широкого использования в популяциях голштинской породы нашей страны. Таким образом, нами были использованы выборки групп дочерей отцов, получивших в 2020-2021 гг. как высокие, так и низкие показатели племенной ценности по удою, МДЖ и МДБ.

Цель исследований – сравнение значимости показателей признаков селекции у дочерей быков-производителей, проверяемых по качеству потомства и дифференцированных согласно официальным уровням «улучшения» и «ухудшения» признаков молочности в породе и данных их дочерей на племенных заводах.

Задачи исследований – определение уровня эффекта селекции по признакам удою, МДЖ, МДБ и суммарного выхода молочного белка и жира за 305 дней лактации дочерей быков-производителей при их проверке по качеству потомства; проведение анализа величин живой массы и возраста первого плодотворного осеменения у дочерей в аспектах дифференциации официальных оценок по качеству потомства их отцов по признакам молочности.

Научная новизна – более раннее определение относительно официальных оценок племенной ценности быков-производителей голштинской породы по признакам молочности и скороспелости потомства в отдельных племенных заводах методами «дочери – матери» и «дочери – сверстницы», применяемой для широкого использования в подборках по совершенствованию племенных и продуктивных качеств молочного скота.

Материал и методы. Использовали оценки племенной ценности быков-производителей, рассчитанные методом BLUP во ВНИИПлем и опубликованные в Ежегоднике за 2021 год [5].

По материалам племзавода ФГУП «Пойма» «лучшими по удою» (племенная ценность +1176...+600 кг) были быки Баннер 106303118 (1002 кг), Ларк 11161761 (1168 кг), Спайдермент 520629046 (1176 кг), Гарсон 106739655 (902 кг), Яс-М 462771 (633 кг), Ладон-М 11161764 (731 кг), Гектор 1361 (640 кг), Презент 105585572 (600 кг); «худшими» (племенная ценность +145...-100 кг молока) – быки Атлас 105251802 (-100 кг), Флеш 10956416 (-100 кг), Макинтош 11011916 (37 кг), Лего-М

426087690 (145 кг), Планет 10928262 (136 кг), Фондаго-М 38434917 (124 кг), Вояж 1217 (115 кг), Адвент 106142827 (23 кг).

По признаку «лучшие по МДЖ» отнесены быки Флеш (0,13 %), Вояж (0,06 %), Лего (0,06 %), Хит 7777 (0,04 %), Суарес (0,05 %), Фондаго-М (0,05 %); «худшие» – Ладон-М 11161764 (-0,09 %), Шанти (-0,06 %), Рон-м 2671 (-0,06 %), Спайдермент 520629046 (-0,15 %), Ларк (-0,08 %), Гектор 1361 (-0,10 %).

По МДБ «лучшими» были Суарес (0,04 %), Флеш (0,04 %), Лего (0,03 %), Вояж (0,02 %), Атвуд (0,02 %); «худшими» – Гектор (-0,05 %), Гарсон (-0,03 %), Планет (-0,03 %), Яголд (-0,03 %), Адвент (-0,03 %), Ладон (-0,03 %).

По материалам СПК им. Ленина «лучшими по удою» были быки Спайдермент 520629046 (1176 кг), Юкебокс-М 46908227 (1340 кг), Донателло-М 11595046 (1203 кг), Мирок-М 522667596 (997 кг), Бокко-М 496356034 (883 кг); «худшими» – быки Суарес 519550898 (186 кг), Оймед-М 64127352 (252 кг). По МДЖ «лучшими» были быки Суарес 519550898 (0,05 %), Оймед-М (0,11 %), Донателло-М 11595046 (0,03 %); «худшими» – Ратибор-М 56414977 (-0,10 %), Спайдермент (-0,15 %), Мирок-М (-0,11 %), Бокко-М 496356034 (-0,08 %). По признаку «лучшие по МДБ» – Суарес (+0,04 %), Вонторра (+0,02 %); «худшие» – Ратибор-М (-0,05 %), Оймед-М (-0,04 %), Юкебокс-М (-0,03 %) и Мирок-М (-0,03 %)¹ [9].

Живая масса при первом плодотворном осеменении в килограммах и возраст осеменения в месяцах включены в базу данных согласно карточки племенной коровы ф. 2-Мол.

МДЖ и МДБ определяли в нашей молочной лаборатории по методикам, принятым в институте с пересчётом за 305 дней лактации и за полную лактацию.

Результаты и их обсуждение. Официальные племенные характеристики групп быков-производителей и показателей их дочерей в хозяйствах заслуживают детального рассмотрения. В подборках с одинаковой интенсивностью использовали обе группы: и «лучшая», и «худшая». Соотношение поголовья их дочерей-первотелок на ФГУП «Пойма» составляло 511:568, а на СПК им. Ленина – 160:127. По факту все быки-производители относились к основным.

¹Ескин Г. В., Федорова Е. В., Максимчук М. Г., Турбина И. С. и др. Каталог быков-производителей ОАО «ГЦВ» за 2014 – 2015 гг. Быково, 2014. 115 с.

Сравнительный анализ представленных быков-производителей с противоположными показателями официальных оценок по группам коров-первотелок на ФГУП «Пойма» полностью подтвердил тенденцию превосходства живой массы в первое плодотворное осеменение телок-дочерей по отцам с племенными характеристиками «лучшие по удою» на 8,5 кг (или 2,1 %) живой массы дочерей, «лучшие по МДЖ» – на 7,0 кг (или 0,72 %) и по МДБ – на 6,4 кг (или 1,59 %), однако, разности статистически недостоверны. Кроме этого, по возрасту первого плодотворного осеменения данные телки были старше соответственно на 0,5 (2,8 %), 0,35 (2,4 %) и 0,6 (3,37 %) месяца [10]. С высокой вероятностью следует утверждать, что дочери «лучших» быков-производителей устойчиво и дружно приходили в охоту относительно раньше и имели большую живую массу на 6,4–8,5 кг. Таким образом, группы дочерей из числа имеющих «лучших отцов» свидетельствовали о прогрессе по признакам скороспелости и не уступали сверстницам по уровню молочной продуктивности (табл. 1).

По данным этих же групп из СПК имени Ленина телки от «лучших по удою» отцов также характеризовались повышенной живой массой на 10,4 кг (или на 2,61 %). В группах отцов «лучшие по МДЖ и МДБ» эта тенденция у дочерей не проявилась, при этом относительные величины по живой массе и возрасту осеменения составили соответственно 2,79:3,50 % и -0,90:2,79 %. «Стадо» отличалось высокой плотностью плодотворных осеменений по возрасту: 14,3–14,8 мес., тогда как на ФГУП «Пойма» этот показатель находился в пределах 17,0–18,4 месяца (табл. 2). Каких-либо значимых различий по средним показателям живой массы коров-первотелок в обоих стадах не наблюдали: 564–566 кг – на ФГУП «Пойма» и 562–574 кг – на СПК им. Ленина. Следует отметить достаточно высокий разброс показателей возраста и живой массы при плодотворном осеменении телок, который ранее здесь регистрировался.

Оптимизация в стадах живой массы и возраста первого плодотворного осеменения приводит к более строгому их контролю по достижении установленных в хозяйстве величин этих факторов, например, после взвешивания.

Ретро-анализ результатов одновременного подбора оцененных и проверяемых по качеству потомства быков-производителей свидетельствует о высоком тренде совершенствования признаков молочности в племенных стадах как у дочерей «улучшателей», так и

«ухудшателей» согласно их последующим официальным оценкам. В вариантах «худших» отцов в кластерах по МДЖ и МДБ уровни показателей разностей удоев, МДЖ и МДБ между дочерями и матерями превышали те же разности по группам формально «лучших» отцов на ФГУП «Пойма» (рис. 1). В стаде СПК имени Ленина удалось добиться прогресса относительно материнского поколения по всем признакам и всем позициям (кластерам) групп отцов (рис. 2).

Опыт зоотехников-селекционеров этих хозяйств свидетельствовал о высоком уровне владения элементами оценок и индивидуальным подбором пар в племенных стадах голштинской породы Московской области.

Селекционерам удалось по первой лактации увеличить удои дочерей на 599–1275 кг молока, МДЖ – на 0,02–0,20 %, МДБ – на 0,19–0,31 % против матерей в СПК им. Ленина; в стаде ФГУП «Пойма» также увеличили средние удои на 438–1551 кг молока и на 0,05–0,13 % МДБ, но не сохранили достигнутый уровень по МДЖ – снижение составило от -0,05 до -0,28 % по всем кластерам и группам быков. Сравнительно невысокие показатели МДЖ у матерей на ФГУП «Пойма» не были реализованы и понизились у дочерей при использовании и «лучших», и «худших» быков-производителей как имеющих племенные оценки, так и оцениваемых по качеству потомства по показателям удой, МДЖ и МДБ.

Вместе с отмеченной выше динамикой показателей молочной продуктивности обратимся к средним величинам суммарного выхода молочного жира и белка за 305 дней первой лактации у матерей и дочерей с разбивкой по группам быков-производителей. Например, на ФГУП «Пойма» группы дочерей «худших» отцов по МДЖ и МДБ весьма значительно превосходили по разностям «дочери – матери» группы дочерей «лучших» отцов соответственно на 35,6 и 61,7 кг. Аналогично на СПК им. Ленина у дочерей «худшей» группы отцов по удою превышение составило 43,1 кг. Данные дочерей в группах исследуемых категорий отцов отражали их сравнительно высокую племенную ценность [1, 11]. Это подтвердилось и скрывалось за возможностью направленных подборов по типам продуктивности и видам родства с учетом состояния генетической и фенотипической изменчивости главных признаков селекции в стадах. Этими факторами руководствовались селекционеры обоих хозяйств в системе разведения и совершенствования признаков племенного скота [12].

Таблица 1 – Характеристика показателей скороспелости и молочной продуктивности на ФГУП «Пойма» групп дочерей-первотелок быков-производителей с различными уровнями племенной ценности по удою, МДЖ, МДБ согласно их официальным оценкам ВНИИПлем за качество потомства /
Table 1 – Characteristics of indicators of precocity and milk productivity at FSUE "Poima" of groups of first-calf daughters of breeding bulls with different levels of breeding value in milk yield, MPF, MPF according to their official estimates of VNIIPlem for the quality of offspring

| Признак / Trait | Живая масса и молочная продуктивность коров-первотелок и их матерей / Live weight and milk productivity of first-calf cows and their mothers | | | | | | | |
|---|---|-----------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|--|--|
| | племенная ценность по удою / breeding value by milk yield | | племенная ценность по МДЖ / breeding value by MPF | | племенная ценность по МДБ / breeding value according to MPF | | | |
| | «лучшие» / "best" | «худшие» / "worst" | «лучшие» / "best" | «худшие» / "worst" | «лучшие» / "best" | «худшие» / "worst" | | |
| | 1176 — 600 кг | 145 — 100 кг | 0,13 — 0,04 % | -0,06 — -0,15 % | 0,04 — 0,02% | -0,03 — -0,05% | | |
| | класстер отцов 1 / cluster of fathers 1 | | класстер отцов 2 / cluster of fathers 2 | | класстер отцов 3 / cluster of fathers 3 | | | |
| Поголовье в группе коров, гол. / The number of cows in the group, heads. | 249 | 200 | 130 | 146 | 132 | 222 | | |
| Удой матерей за 305 дней 1 лактации, кг / Milk yield of mothers for 305 days of 1 lactation, kg | 7160±1294,4 | 6952±1000,3 | 7519±1249,7 | 7344±1394,1 | 7628±1290,9 | 6590±1112,4 | | |
| Массовая доля жира (матери), % / Mass fraction of fat (mother), % | 4,08±0,123 | 4,09±0,158 | 4,03±0,151 | 4,11±0,104 | 4,03±0,131 | 4,11±0,136 | | |
| Массовая доля белка жира (матери), % / Mass fraction of fat protein (mother), % | 3,16±0,071 | 3,19±0,079 | 3,20±0,071 | 3,19±0,056 | 3,18±0,061 | 3,20±0,079 | | |
| Суммарный выход молочного жира и белка у матерей в 1 лактацию, кг / The total yield of milk fat and protein in mothers in 1 lactation, kg | 518,4 | 506,1 | 549,6 | 536,1 | 550,0 | 481,7 | | |
| Живая масса в 12 мес., кг / Live weight in 12 months, kg | 298,3±12,23 | 297,2±13,57 | 304,4±13,72 | 302,6±11,52 | 298,0±16,75 | 298,5±12,76 | | |
| Живая масса при 1 осеменении, кг / Live weight at 1 insemination, kg | 406,8±25,90 | 398,3±19,34 | 399,5±20,71 | 392,5±19,34 | 408,3±23,17 | 401,9±24,45 | | |
| Разность между телками по живой массе при 1 осеменении, % / The difference between heifers in live weight at 1 insemination, % | 2,1 | | 0,72 | | 1,59 | | | |
| Возраст плодотворного осеменения, мес. / Age of fruitful insemination, months | 18,3±2,06 | 17,8±1,68 | 17,4±1,80 | 17,0±1,30 | 18,4±2,25 | 17,8±1,81 | | |
| Разность между телками по возрасту плодотворного осеменения, % / The difference between heifers according to the age of fruitful insemination, % | 2,80 | | 2,40 | | 3,37 | | | |
| Удой за 305 дней 1 лактации, кг / Milk yield for 305 days of 1 lactation, kg | 8605±1102,1 | 8058±943,0 | 8069±994,7 | 8571±1196,4 | 8066±1063,5 | 8141±1027,1 | | |
| Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, % | 3,85±0,188 | 3,97±0,158 | 3,96±0,184 | 3,80±0,239 | 3,95±0,174 | 3,85±0,205 | | |
| Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, % | 3,24±0,083 | 3,32±0,098 | 3,33±0,103 | 3,32±0,093 | 3,31±0,108 | 3,25±0,099 | | |
| Суммарный выход молочного жира и белка у дочерей в 1 лактацию, кг / The total yield of milk fat and protein in daughters in 1 lactation, kg | 610,1 | 587,5 | 588,2 | 610,3 | 585,6 | 578,0 | | |
| Разность «дочери – матери» по суммарному выходу молочного жира и белка в 1 лактации, кг / The difference of the "daughter – mother" in the total yield of milk fat and protein in 1 lactation, kg | 91,7 | 81,4 | 38,6 | 74,2 | 35,6 | 97,3 | | |
| Сервис-период, дни / Service period, days | 124,6±52,15 | 125,9±48,18 | 123,1±48,92 | 119,9±53,50 | 135,5±58,34 | 118,1±48,17 | | |
| Живая масса в 1 лактацию, кг / Live weight per 1 lactation, kg | 565±7,3 | 564±6,4 | 564±6,4 | 566±5,6 | 564±6,8 | 564±7,3 | | |

Таблица 2 – Характеристика показателей скороспелости и молочной продуктивности на СПК имени Ленина групп дочерей-первотелок быков-производителей с различными уровнями племенной ценности по удою, МДЖ, МДБ согласно их официальным оценкам ВНИИПлем за качество потомства /
Table 2 – Characteristics of indicators of precocity and milk productivity at the Lenin SEC of groups of first-calf daughters of breeding bulls with different levels of breeding value in milk yield, MFF, MPF according to their official estimates of VNIPIlem for the quality of offspring

| Признак / Trait | Живая масса и молочная продуктивность коров-первотелок и их матерей / Live weight and milk productivity of first-calf cows and their mothers | | | | | |
|---|---|-----------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|
| | племенная ценность по удою / breeding value by milk yield | | племенная ценность по МДЖ / breeding value by MFF | | племенная ценность по МДБ / breeding value according to MPF | |
| | «лучшие» / "best" | «худшие» / "worst" | «лучшие» / "best" | «худшие» / "worst" | «лучшие» / "best" | «худшие» / "worst" |
| | 1340 — 883 кг | 252 — 186 кг | 0,11 — 0,03% | -0,08 — -0,15% | 0,04 — 0,02% | -0,03 — -0,05% |
| классер отцов 1 / cluster of fathers 1 | | | | | | |
| классер отцов 2 / cluster of fathers 2 | | | | | | |
| классер отцов 3 / cluster of fathers 3 | | | | | | |
| Поголовье в группе коров, гол. / The number of cows in the group, heads. | 90 | 16 | 24 | 83 | 46 | 28 |
| Удой матерей за 305 дней 1 лакт., кг / Milk yield of mothers in 305 days of 1 lactation, kg | 7323±1038,3 | 6924±942,1 | 6795±890,8 | 7404±1089,3 | 7251±1177,9 | 7329±822,5 |
| Массовая доля жира (матери), % / Mass fraction of fat (mother), % | 4,04±0,329 | 4,04±0,321 | 3,97±0,303 | 4,05±0,327 | 4,06±0,287 | 4,16±0,298 |
| Массовая доля белка жира (матери), % / Mass fraction of fat protein (mother), % | 3,21±0,141 | 3,16±0,145 | 3,14±0,123 | 3,20±0,145 | 3,21±0,154 | 3,24±0,165 |
| Суммарный выход молочного жира и белка у матерей в 1 лактацию, кг / The total yield of milk fat and protein in mothers in 1 lactation, kg | 530,9 | 498,5 | 483,2 | 536,8 | 527,2 | 542,4 |
| Живая масса в 12 мес., кг / Live weight in 12 months, kg | 352,7±26,09 | 330,6±21,24 | 333,3±17,58 | 354,9±27,22 | 343,0±19,51 | 348,4±26,75 |
| Живая масса при 1 осеменении, кг / Live weight at 1 insemination, kg | 408,8±18,06 | 398,4±16,38 | 397,9±13,45 | 409,0±18,41 | 400,2±16,70 | 403,8±14,71 |
| Разность между телками по живой массе при 1 осеменении, % / The difference between heifers in live weight at 1 insemination, % | 2,61 | | | -2,79 | | -0,90 |
| Возраст плодотворного осеменения, мес. / Age of fruitful insemination, months | 14,4±0,78 | 14,8±0,76 | 14,8±0,98 | 14,3±0,75 | 14,7±0,87 | 14,3±0,82 |
| Разность между телками по возрасту плодотворного осеменения, % / The difference between heifers according to the age of fruitful insemination, % | -2,77 | | | 3,50 | | 2,79 |
| Удой за 305 дней 1 лактации, кг / Milk yield for 305 days of 1 lactation, kg | 7979±837,1 | 8045±987,6 | 8070±986,2 | 8003±872,0 | 8362±809,2 | 8400±1045,3 |
| Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, % | 4,08±0,239 | 4,17±0,394 | 4,17±0,373 | 4,07±0,229 | 4,19±0,346 | 4,17±0,300 |
| Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, % | 3,49±0,106 | 3,47±0,067 | 3,45±0,071 | 3,49±0,111 | 3,48±0,106 | 3,43±0,080 |
| Суммарный выход молочного жира и белка у дочерей в 1 лактацию, кг / The total yield of milk fat and protein in daughters in 1 lactation, kg | 604,0 | 614,7 | 614,9 | 605,0 | 641,4 | 638,4 |
| Разность «дочери – матери» по суммарному выходу молочного жира и белка в 1 лактации, кг / The difference of the "daughter – mother" in the total yield of milk fat and protein in 1 lactation, kg | 73,1 | 116,2 | 131,7 | 68,5 | 114,2 | 96,0 |
| Сервис-период, дни / Service period, days | 162,3±75,55 | 177,4±87,2 | 163,4±79,3 | 166,2±75,75 | 209,8±83,15 | 144,1±73,84 |
| Живая масса в 1 лактацию, кг / Live weight per 1 lactation, kg | 573±16,8 | 563±10,4 | 562±8,4 | 574±17,2 | 566±9,9 | 566±8,3 |

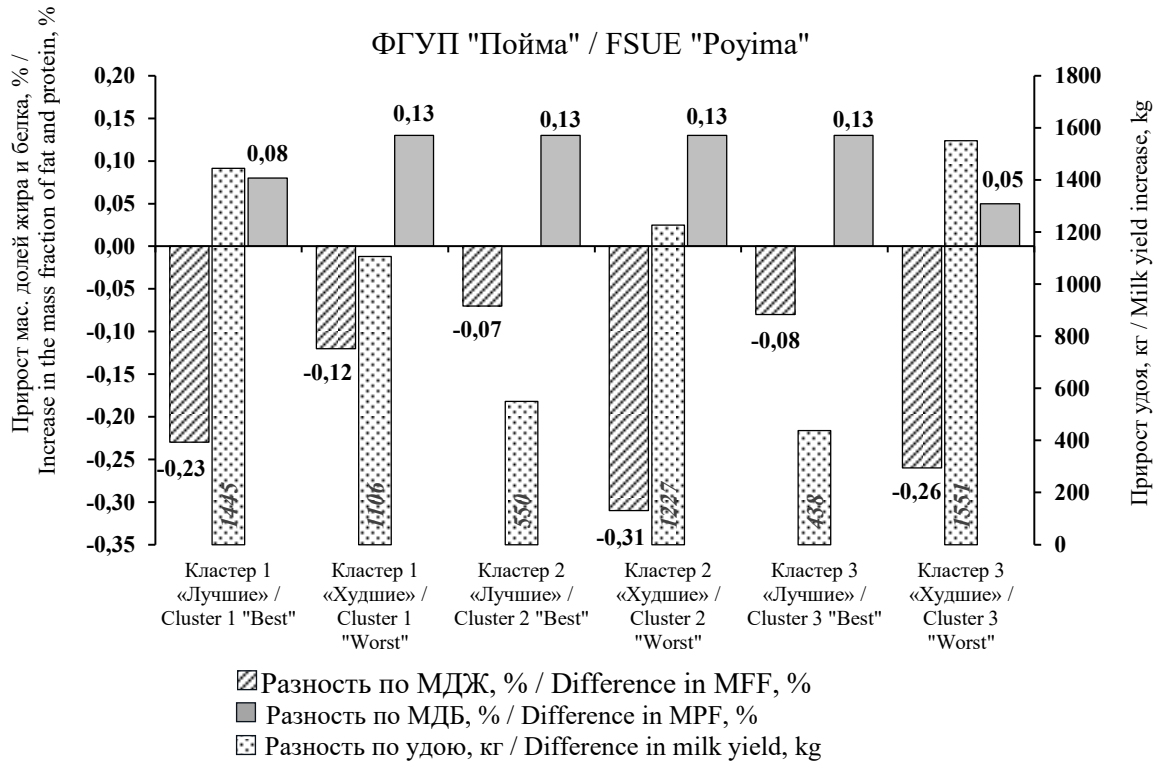


Рис. 1. Разности (прирост или отставание) молочной продуктивности в группах «дочери – матери» по кластерам быков-производителей (табл. 1): 1 – по удою; 2 – по МДЖ; 3 – по МДБ /

Fig. 1. Differences (increase or lag) in milk productivity in the "daughters–mothers" groups by clusters of producing bulls (Table 1): 1 – according to milk yield; 2 – according to MFF; 3 – according to MPF

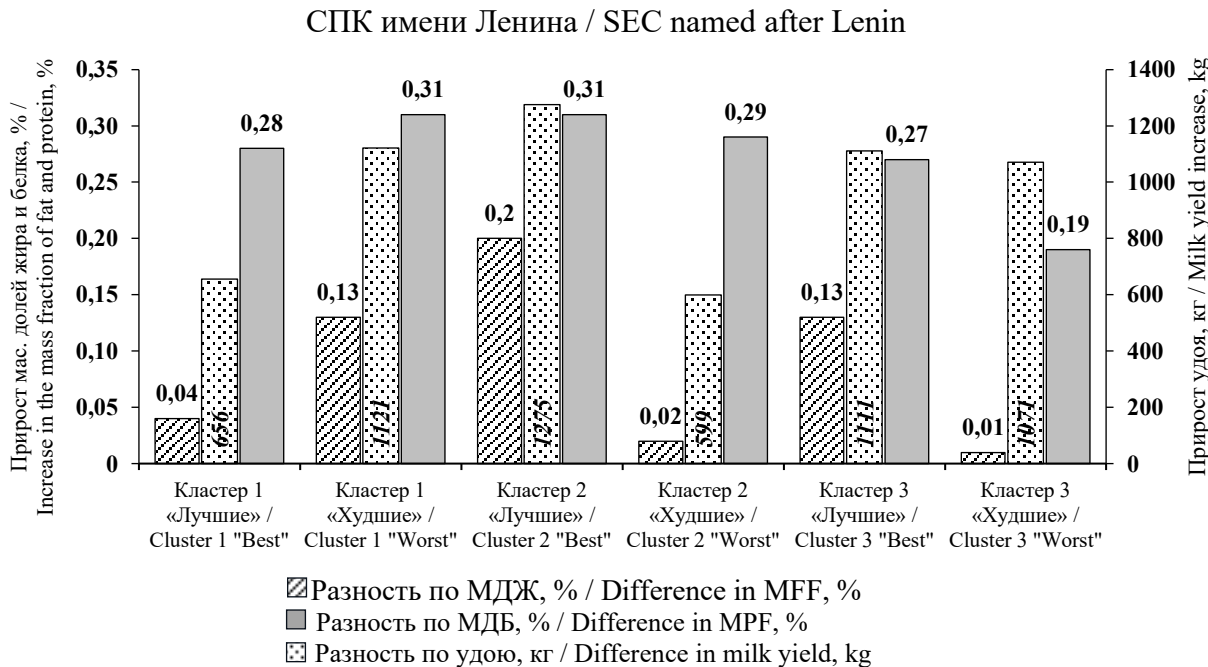


Рис. 2. Разности (прирост или отставание) молочной продуктивности в группах «дочери – матери» по кластерам быков-производителей (табл. 2): 1 – по удою; 2 – по МДЖ; 3 – по МДБ /

Fig. 2. Differences (increase or lag) in milk productivity in the "daughters–mothers" groups by clusters of producing bulls (Table 2): 1 – according to milk yield; 2 – according to MFF; 3 – according to MPF

Выводы. 1. В результате направленного индивидуального подбора быков-производителей с альтернативными значениями современных официальных оценок, полученными в нашей стране, зоотехники-селекционеры племенных заводов ФГУП «Пойма» и СПК имени Ленина более чем в 50 % вариантов подбора изменили «условные» их значения. Получено потомство со значительно лучшими показателями молочности, чем тренды, которые рассчитаны для их использования в среднем по породе. Скрытые резервы возможностей подбора позволяют более точно отбирать молодых быков-производителей после оценки в базовых хозяйствах, но ещё не имеющих статистически достоверных племенных характеристик для широкого применения в породе.

2. При отборе быков для использования в племенном стаде необходимо определить племенные характеристики с учётом показателей родословных, продуктивности предков, независимо от «коммерческих» и ранее присвоенных им категорий. Анализ систем разведения свидетельствует об относительности величин определяемой племенной ценности по официальным рейтингам «худшие» и «лучшие» быков-производителей на пути долговременного совершенствования показателей более чем за поколение в стаде по удою, МДЖ и МДБ.

3. В результате использования в стаде СПК им. Ленина «худшие» по рейтингам признаков быки-производители не уступали «лучшим» в величинах разностей «дочь – мать»

– по кластеру «удой» на 465 кг молока и суммарному выходу молочного жира и белка за 305 дней на 43,1 кг. Аналогичное превосходство на ФГУП «Пойма» в группах «худшие» по кластеру МДЖ – 688 и 35,6 кг, по кластеру МДБ разность по удою равнялась 1113 кг молока, выходу белка и жира – 97,3 кг. При этом значимых различий между сверстницами как «лучшие», так и «худшие» быков-производителей не выявлено. Например, в группах дочерей на СПК имени Ленина – по величинам удоя в кластере «удой» 604,0:614,7 кг, по кластеру МДЖ – 614,9:605,0 кг, по кластеру МДБ – 641,4:638,4 кг молока.

4. Скороспелость является важным фактором для экономики хозяйств молочной отрасли. Дифференциация уровней племенной ценности быков-производителей по признакам молочности в племенных стадах выявила сопряженность с живой массой и возрастом их дочерей при первом плодотворном осеменении. «Лучшая» группа по племенной ценности отцов превосходила на 6,4–8,5 кг (0,72–2,10 %) живой массы телок при осеменении, но и по возрасту они были старше на 0,35–0,6 мес. (2,40–3,37 %). Таким образом, зоотехники-селекционеры ориентированы на более оптимальные параметры сроков и живой массы для проведения плодотворного осеменения телок, которые следует определять для стад отдельных хозяйств, использующих ту или иную технологию содержания животных.

Список литературы

1. Изотова Н. В., Попов Н. А. Скороспелость и аспекты воспроизводства генофонда черно-пестрого скота. Современные проблемы ветеринарного обеспечения репродуктивного здоровья животных: мат.-лы науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. В. А. Акатова, 27-29 мая 2009 г. Воронеж, 2009. С.195–198.
2. Попов Н. А. Способ формирования племенного молочного стада крупного рогатого скота с использованием генетических факторов: пат. № 2701499 Российская Федерация. №2018118683: завл. 21.05.2018; опубл. 26.09.2019. Бюл. №27. 16 с. Режим доступа: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/701/499/ИЗ-02701499-00001/document.pdf>
3. Сакса Е. И. Эффективность использования быков, оцененных разными методами при совершенствовании высокопродуктивных стад. Молочное и мясное скотоводство. 2018;(1):5–8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32677845> EDN: YTPCBS
4. Тяпугин С. Е., Дунин И. М., Сафина Г. Ф., Чернов В. В., Колосов А. Ю., Щеглов М. Е., Семенова Н. В. Результаты оценки быков-производителей молочных и молочно-мясных пород по качеству потомства за 2020 год. В кн.: Каталог быков-производителей молочных и молочно-мясных пород, оцененных по качеству потомства в 2021 году. Лесные Поляны: изд-во ФГБНУ ВНИИПлем, 2021. С. 3–12.
5. Лепёхина Т. В., Попов Н. А. Рекомендации по отбору быков-производителей для совершенствования признаков молочной продуктивности в стадах голштинской породы с использованием селекционно-генетических параметров. М.: «Постер-М», 2023. 50 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60004000>
6. Вылегжанина Л. Н. Влияние возраста 1-го осеменения на выбытие коров-первотелок. Эффективное животноводство. 2019;(S5):60–61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39253837> EDN: HTZYMГ
7. Логинов Ж. Г. Оценка и отбор быков-производителей по комплексу признаков. Зоотехния. 1998;(7):2–5.
8. Стрекозов Н. И., Сивкин Н. В. К вопросу о возрасте, живой массе при первом осеменении телок молочных пород. Молочное и мясное скотоводство. 2017;(2):3–7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29240729> EDN: YPWTEF

9. Тихонова Т. Н., Жаров И. Н., Никитина С. В., Янчуков И. Н., Ермилов А. Н., Ермилов А. А. и др. Генетические ресурсы ОАО «Московское» по племенной работе. Изд. третье, перераб. и доп. М.: изд-во ОАО «Московское» по племенной работе, 2015. 148 с.

10. Первов Н. Г., Стрекозов Н. И., Кумарин С. В. Есть ли оптимальные параметры роста и развития ремонтных телок? Пути продления продуктивной жизни молочных коров на основе оптимизации разведения, технологий содержания и кормления животных: мат-лы междунаро. научн.-практ. конф., Дубровицы, 28-29 мая 2015 года. Дубровицы: Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л. К. Эрнста, 2015. С. 273–279.

11. Тимофеев Ю. П., Котлова А. Б. Отбор быков-улучшателей и продуктивность дочерей в разных стадах. Повышение продуктивности в молочном и мясном скотоводстве: бюллетень научных работ. Дубровицы: ВНИИЖ, 1988. Вып. 92. С. 3–5.

12. Попов Н. А. Отбор быков-производителей голштинской породы по генетической изменчивости. Зоотехния. 2018;(12):2–6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36674696> EDN: YSBCBV

References

1. Izotova N. V., Popov N. A. Precocity and aspects of reproduction of gene pool of white-and-black cattle. Modern problems of veterinary provision of reproductive health of animals: Proceedings of scientific and practical conference, dedicated to the 100th anniversary of the birth of prof. V. A. Akatov, May 27-29, 2009. Voronezh, 2009. pp.195–198.

2. Popov N. A. A method of forming a breeding dairy herd of cattle using genetic factors: Patent RF, no. 2701499, 2019. URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/701/499/ИЗ-02701499-00001/document.pdf>

3. Saksa E. I. Efficiency of use of bulls evaluated by various methods for improvement of highly productive herds. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(1):5–8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32677845>

4. Tyapugin S. E., Dunin I. M., Safina G. F., Chernov V. V., Kolosov A. Yu., Shcheglov M. E., Semenova N. V. The results of the evaluation of bulls-producers of dairy and dairy-meat breeds by the quality of offspring for 2020. In the book: Catalog of bulls-producers of dairy and dairy-meat breeds, evaluated by the quality of offspring in 2021. Lesnye Polyany: *izd-vo FGBNU VNIIPlem*, 2021. pp. 3–12.

5. Lepekhina T. V., Popov N. A. Recommendations on the selection of breeding bulls to improve the signs of dairy productivity in the herds of the Holstein breed using breeding and genetic parameters. Moscow: «Poster-M», 2023. 50 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60004000>

6. Vylegzhanina L. N. The effect of the age of the 1st insemination on the retirement of first-calf cows. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2019;(S5):60–61. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39253837>

7. Loginov Zh. G. Evaluation and selection of breeding bulls according to a set of characteristics. *Zootekhnika*. 1998;(7):2–5.

8. Strekozov N. I., Sivkin N. V. On the question of heifers' age and their live weight for the first insemination dairy breeds. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2017;(2):3–7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29240729>

9. Tikhonova T. N., Zharov I. N., Nikitina S. V., Yanchukov I. N., Ermilov A. N., Ermilov A. A. et al. Genetic resources of JSC Moskovskoye for breeding work. Third edition, revised. Moscow: *izd-vo OAO «Moskovskoe» po plemennoy rabote*, 2015. 148 p.

10. Pervov N. G., Strekozov N. I., Kumarin S. V. Are there optimal parameters for the growth and development of replacement heifers? Ways to prolong the productive life of dairy cows based on the optimization of breeding, animal husbandry and feeding technologies: Proceedings of International scientific and practical conference, Dubrovitsy, May 28-29, 2015. Dubrovitsy: *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut zhivotnovodstva imeni akademika L. K. Ernsta*, 2015. pp. 273–279.

11. Timofeev Yu. P., Kotlova A. B. The selection of improver bulls and the productivity of daughters in different herds. Increasing productivity in dairy and beef cattle breeding: bulletin of scientific papers. Dubrovitsy: *VNIIZh*, 1988. Iss. 92. pp. 3–5

12. Popov N. A. Selection of holstein bulls on genetic variability. *Zootekhnika*. 2018;(12):2–6. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36674696>

Сведения об авторе

✉ **Попов Николай Александрович**, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4263-7320>, e-mail: genetic-pna@yandex.ru

Information about the author

✉ **Nikolay A. Popov**, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4263-7320>, e-mail: genetic-pna@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.683-690>

УДК 619:571.27



Влияние композиции, содержащей липосомы с инкапсулированным оротатом калия, на макрофагальное звено иммунитета при лечении ран

© 2024. В. В. Мосягин¹✉, В. С. Попов¹, Г. Ф. Рыжкова²

¹ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», г. Курск, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова», г. Курск, Российская Федерация

В ветеринарной медицине одним из важнейших направлений является лечение ран. Возможный путь решения проблемы лечения ран – активация собственных защитных резервов организма, в первую очередь иммунной системы. Для активации иммунной системы широко используют различные иммуностимуляторы и иммуномодуляторы. Известными иммуностимуляторами являются производные пиримидиновых оснований, в частности, оротат калия (калиевая соль оротовой кислоты). Оротовая кислота содержится в молоке и молозиве животных. Использование оротовой кислоты или ее солей в качестве иммуностимуляторов затруднено в связи с их низкой биодоступностью, определяемой растворимостью в воде. Повысить эффективность иммуностимуляторов на основе оротата калия возможно путём его включения в липосомы. Получение липосом с инкапсулированным оротатом калия проводили методом встряхивания. Цель исследований – изучение активации макрофагального звена иммунитета липосомами с инкапсулированным оротатом калия. Оценку эффективности липосомального препарата проводили на моделях ран у крыс и послекастрационных ранах у поросят-сосунков. Опыты на животных проводились согласно биоэтическим нормам. Полное заживление ран у крыс при применении липосомального геля наступило на двое суток раньше, чем в контроле при использовании препарата «Монклавит-1», при этом в опытной группе по сравнению с контрольной отмечено достоверно выше содержание лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов, тромбоцитов и гранулоцитов. Заживление операционных ран у поросят после кастрации при использовании липосомального геля наступило на двое суток раньше, чем при применении препарата «Монклавит-1». В обеих группах не отмечено каких-либо осложнений. На основе анализа литературных данных и результатов собственных исследований предложена схема механизма действия липосомального препарата. Высказана гипотеза о механизме влияния липосомальной композиции на макрофагальное звено иммунитета.

Ключевые слова: иммуностимулятор, макрофаги, активация макрофагов, цитокины

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (тема № FGZU-2022-0004).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мосягин В. В., Попов В. С., Рыжкова Г. Ф. Влияние композиции, содержащей липосомы с инкапсулированным оротатом калия, на макрофагальное звено иммунитета при лечении ран. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):683–690. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.683-690>

Поступила: 09.01.2024

Принята к публикации: 04.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

The effect of liposomal composition with encapsulated potassium orotate on the macrophage link of immunity in the treatment of wounds

© 2024. Vladimir V. Mosyagin¹✉, Victor S. Popov, Galina F. Ryzhkova²

¹Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russian Federation,

²Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation

In veterinary medicine, treatment of wounds is one of the most important areas. A possible way to solve the problem of wound treatment is to activate the body's own protective reserves, primarily the immune system. Various immunostimulants and immunomodulators are widely used to activate the immune system. Known immunostimulants are derivatives of pyrimidine bases, in particular, potassium orotate (potassium salt of orotic acid). Orotic acid is found in milk and colostrum of animals. The use of orotic acid or its salts as immunostimulants is difficult due to their low bioavailability determined by their solubility in water. It is possible to increase the effectiveness of immunostimulators based on potassium orotate by including it in liposomes. Liposomes with encapsulated potassium orotate were obtained by shaking. The aim of the research was to study

the activation of immunity macrophage link by liposomes with encapsulated potassium orotate. Evaluation of the effectiveness of the liposomal drug was carried out on rat wound models and on post-castration wounds of suckling pigs. Animal experiments were conducted according to bioethical norms. Complete wound healing in rats with the use of liposomal gel occurred on day 2, earlier than in the control with the use of Monclavit-1, while in the experimental group, compared with the control group, the content of leukocytes, lymphocytes, monocytes, platelets and granulocytes was significantly higher. The healing of surgical wounds in piglets after castration with the use of liposomal gel occurred 2 days earlier than with the use of the drug "Monclavit-1". There were no complications in both groups. Based on the analysis of literature data and the results of our own research, a scheme of the mechanism of action of a liposomal drug was proposed. The hypothesis about the mechanism of influence of liposomal composition on the macrophage link of immunity has been presented.

Keywords: immunostimulator, macrophages, macrophage activation, cytokines

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Kursk Research Center (theme No. FGZU-2022-0004).

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

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

For citation: Mosyagin V. V., Popov V. S., Ryzhkova G.F. New approaches to stimulation of macrophage immunity by liposomal composition. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(4):683-690. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.683-690>

Received: 09.01.2024

Accepted for publication: 04.07.2024

Published online: 28.08.2024

В ветеринарной медицине одним из важнейших направлений является лечение ран. Возможный путь ее решения – активация собственных защитных резервов организма, в первую очередь иммунной системы. Для активации иммунной системы широко используют различные иммуностимуляторы и иммуномодуляторы.

Известными иммуномодуляторами являются производные пиримидиновых оснований, к которым относят, например, оротат калия [1, 2] и метилурацил [3].

Оротат калия препарат анаболического типа действия, который применяют при нарушениях белкового обмена и как общий стимулятор обменных процессов [4].

Оротат калия – калиевая соль оротовой кислоты, называемая также витамин В₁₃. Оротовая кислота (от др.-греч. ὀρός «сыворотка») впервые выделена из сывотки коровьего молока, небольшое количество ее содержится в материнском молоке, что свидетельствует о важности оротовой кислоты для организма. Она синтезируется в организме и является предшественником для синтеза пиримидиновых нуклеотидов, входящих в состав нуклеиновых кислот, участвующих в синтезе белковых молекул.

Оротовая кислота является обязательным компонентом молока [5]. Известно, что включение труднорастворимых действующих веществ в липосомальные везикулы позволяет повысить их биодоступность [6]. В связи с этим оротат калия был инкапсулирован в липосомы [7].

Липосомы используют для адресной доставки действующих веществ в клетки-мишени [8]. Липосома – (греч. lipos – жир и

soma – тело) – это искусственно получаемые, замкнутые сферические частицы, образованные бимолекулярными липидными слоями, в пространстве между которыми содержится среда формирования. Липосомы называют также микрокапсулы, нанокапсулы или наноконтейнеры. Они имеют определенное сходство с мембранами клеток и полностью биodeградируемы [8].

Отмечено, что применение липосомальных форм лекарственных средств существенно расширяет возможности фармакотерапии [9].

Основными клетками-мишенями липосом являются макрофаги [10]. Этим клеткам принадлежит ведущая роль в иммунном ответе. Макрофаги различных фенотипов выполняют в организме антигенпрезентирующую функцию, уничтожение микроорганизмов, синтез цитокинов и другие [11].

В естественных условиях существования организмов, особенно при болезнях, происходит контакт с микроорганизмами и вирусами, которые являются очень сильными иммуностимуляторами [12]. При этом активируются макрофаги. Они могут активироваться различными путями, в зависимости от силы активации и микроокружения (наличия в среде иммунных комплексов, тех или иных цитокинов и др.). В зависимости от пути активации выделяют фенотипы M1 и M2, которые в настоящее время считаются условными в виду пластичности макрофагального фенотипа [13].

Есть мнение, что M1 фенотип является «провоспалительным», а M2 фенотип – «противовоспалительным». Установлено, что макрофаги M1 фенотипа продуцируют цитокины

IL-12, IL-18, IL-1 β , TNF- α , активные формы кислорода и оксид азота, благодаря чему проявляют бактерицидную активность. Макрофаги M2 фенотипа продуцируют IL-10, IL-13, TGF- β .

Выделяемые макрофагами и лимфоцитами цитокины оказывают определенное биологическое действие, например, регулируют дифференцировку Т-лимфоцитов хелперов, стимулируют пролиферацию и дифференцировку различных типов клеток-предшественников в костном мозге, среди прочих функций. На основе этих действий можно сделать заключение о типе активации макрофагов и преимущественно выделяемых ими цитокинах. В настоящее время существует множество методов получения липосом и загрузки в них лекарственных препаратов – это конвекционный, озвучивания, растворения и удаления детергента, испарения с обращением фаз и другие.

Поиск и анализ литературных источников и патентной базы показали, что широко используемыми методами получения липосом являются инъекционный и ручного встряхивания [14]. Инъекционный метод заключается во впрыскивании под большим давлением через малое отверстие органического раствора фосфолипидов в водный раствор лекарственного вещества [15]. Метод ручного встряхивания заключается в смешивании водной фазы, содержащей инкапсулируемое вещество, с неводной фазой — органическим раствором фосфолипидов [16].

В качестве антисептического компонента препарата был выбран йодофор – соединение йода с поливиниловым спиртом (йодиол). Известно, что йодофоры обладают антисептическим, противовоспалительным и ранозаживляющим действием [17].

Цель исследований – изучение влияния липосомального геля, содержащего липосомы с инкапсулированным оротатом калия, на процессы ранозаживления и активацию макрофагального звена иммунитета.

Научная новизна – изучение воздействия липосомальной композиции на макрофагальное звено иммунитета при лечении хирургических ран.

Материал и методы. Получение липосом проводили методом встряхивания с использованием магнитной мешалки. Неводную фазу, содержащую соевый лецитин, α -токоферол, каприловую кислоту, рыбий жир и глицерин,

по каплям вносили в вихрь водной фазы насыщенного раствора оротата калия.

Для получения ранозаживляющего геля полученные липосомы в количестве 0,5-1,0 % вносили в раствор йодиола, и к смеси добавляли 0,1-0,2 % карбомера-940.

Оценку эффективности липосомального препарата проводили на моделях ран у крыс и на поросятах-сосунах согласно биоэтическим нормам.

В опытах использовали белых крыс массой 250-300 г из вивария факультета ветеринарной медицины Курской ГСХА. Из них случайным образом были сформированы две группы по 5 голов в каждой. В контрольной группе применяли препарат «Монклавит-1», в опытной — липосомальный.

Создание модели раны у крыс проводили после депиляции под наркозом хлоралгидратом, делая разрез кожи длиной 1,5-2,0 см в области холки. Препарат наносили однократно, после чего регулярно измеряли площадь раны, которую определяли с помощью компьютерной программы. В конце опыта отбирали кровь для гематологического анализа, который проводили на анализаторе PCE90Vet.

Оценка эффективности препарата при лечении послекастрационной раны у поросят была проведена в АО АФ «Открытие» Курской области Кореневского района, с. Благодатное. В опытах участвовали 4-дневные поросята, которым препараты наносили однократно сразу после операции. В каждой из опытной и контрольной групп было по 10 животных. Продолжительность опыта – 11 дней.

Результаты и их обсуждение. Используя метод встряхивания, были синтезированы моноламеллярные липосомы с диаметром от 10 до 50 нанометров (рис. 1), в которые инкапсулировали оротат калия. Полученные липосомы применяли в качестве основы для разработки средства, способствующего заживлению ран.

В ходе экспериментов на животных было установлено (рис. 2), что использование липосомального геля обеспечивает полное заживление ран у крыс к четвертым суткам. В то же время, у группы крыс, получавших лечение препаратом Монклавит-1, раны на этом этапе оставались незажившими. Эти данные подтверждают эффективность липосомального геля в стимулировании регенеративных процессов кожи и его превосходную ранозаживляющую активность.

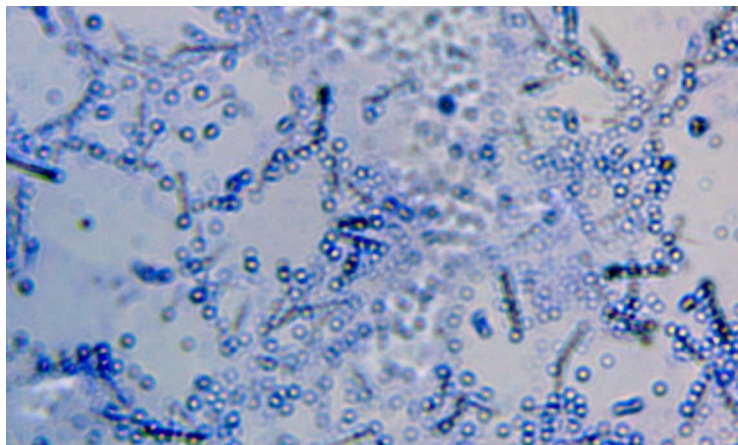


Рис. 1. Моноламеллярные липосомы, окрашенные гематоксилином, $\times 400$ /

Fig. 1. Monolamellar liposomes, with hematoxylin, $\times 400$

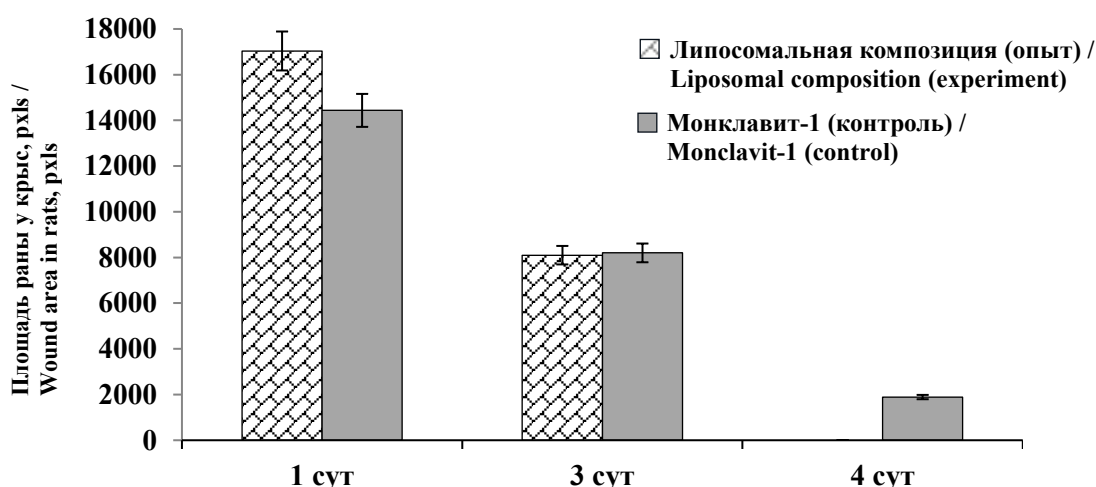


Рис. 2. Динамика площади ран у крыс в группах опыта /

Fig. 2. Dynamics of wound area in rats in experimental groups

Применение липосомального средства повлияло на морфологические показатели крови (рис. 3). В группе, получавшей липосомальный препарат, наблюдали статистически значимое увеличение уровня лейкоцитов, лимфоцитов,

моноцитов и гранулоцитов по сравнению с контрольной. Однако различий в количестве эритроцитов и тромбоцитов между двумя группами выявлено не было.

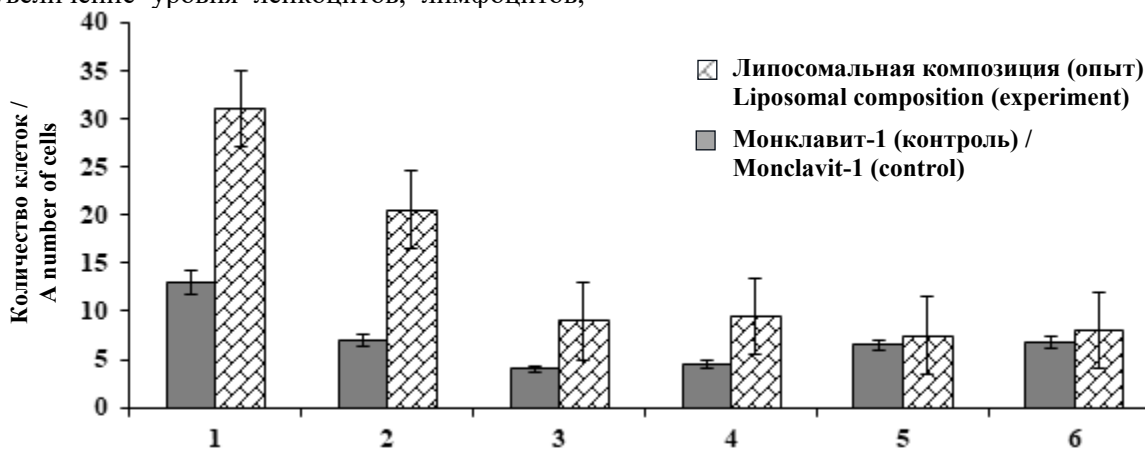


Рис. 3. Морфологические показатели крови подопытных крыс: 1 – лейкоциты, $\times 10^9$; 2 – лимфоциты, $\times 10^9$; 3 – моноциты, $\times 10^8$; 4 – гранулоциты, $\times 10^9$; 5 – эритроциты, $\times 10^{12}$; 6 – тромбоциты, $\times 10^{11}$ /

Fig. 3. Morphological parameters of blood of experimental rats: 1 – leukocytes, $\times 10^9$; 2 – lymphocytes, $\times 10^9$; 3 – monocytes, $\times 10^8$; 4 – granulocytes, $\times 10^9$; 5 – red blood cells, $\times 10^{12}$; 6 – platelets, $\times 10^{11}$

Исследование гематологических параметров в различных группах не выявило значимых различий в таких показателях, как гемоглобин, гематокрит, среднее содержание и концентрация гемоглобина в эритроците, ширина распределения эритроцитов и тромбоцитов, средний объем эритроцитов и тромбоцитов, а также тромбоцит.

Гистологический анализ тканевых срезов в области рубцов у крыс показал, что при лечении препаратом «Монклавит-1» эпителизация была полной. Коллагеновые волокна под эпителием с умеренной лимфо-лейкоцитарной инфильтрацией и новообразованными вертикально ориентированными сосудами также были заметны.

При использовании липосомального геля наблюдали полную эпителизацию, а в подле-

жащих слоях дермы – незначительную лимфодную инфильтрацию и множество новообразованных вертикально расположенных сосудов.

Эти результаты указывают на слабо выраженную воспалительную реакцию и более активные процессы васкуляризации при использовании липосомального геля по сравнению с «Монклавит-1».

Положительные исходы экспериментов на крысах стали основанием для начала исследований воздействия липосомального препарата на заживление послекастрационных ран у поросят. Исследование показали, что при использовании липосомального геля заживление происходило на двое суток ранее, чем при лечении препаратом «Монклавит-1», при этом в обеих группах осложнений не наблюдали (рис. 4).

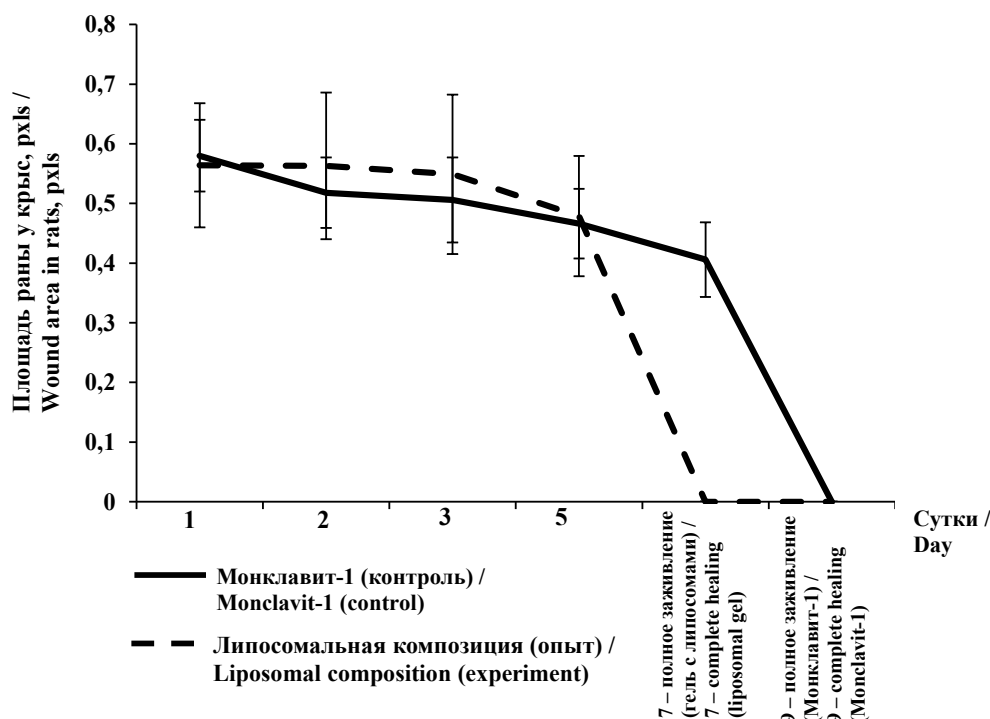


Рис. 4. Динамика площади ран у поросят опытной и контрольной групп /

Fig. 4. Dynamics of the wound area in piglets of the experimental and control groups

Анализируя результаты опытов, можно сделать ряд заключений. В процессы ранозаживления вовлечены следующие звенья иммунной системы: макрофаги, активируемые по типу M1 и M2, Т-хелперы, активируемые в фенотипы Th1 и Th2 и выделяемые этими клетками провоспалительные (IL-12, IL-18, IL-1 β , TNF α) и противовоспалительные цитокины (IL-10, IL-13, TGF- β).

При применении липосомальной ранозаживляющей композиции, выделенные цито-

кины вызывают ряд специфических процессов: ускорение регенерации тканей, усиление васкуляризации, увеличение количества лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов и гранулоцитов. Можно сделать предположение, что в ускорении регенерации тканей участвуют макрофаги, их циркулирующие предшественники моноциты [18]. Кроме этого, ускорение регенерации тканей вызывает TGF- β (transforming growth factor, трансформирующий фактор роста) [19]. Усиление васкуляризации проис-

ходит под действием фактора роста эндотелия сосудов – VEGF [20].

Для предположения о механизмах увеличения уровня лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов и гранулоцитов крови при действии иммуностимулирующей липосомальной композиции необходимо воспользоваться сведениями о роли цитокинов в воспалительном процессе. Иммунокомпетентные клетки (например, макрофаги) воспринимают липосомы с инкапсулированным оротатом калия как бактериальные липополисахариды или мурамилпептиды с активацией воспалительных реакций, направленных на уничтожение и удаление микробного агента. Так, в течение некоторого времени оседлые макрофаги в месте введения композиции запускают синтез цитокинов, которые активируют функцию всех иммунных клеток, усиливают синтез факторов роста [21]. При этом развивается аналог острой воспалительной реакции и секреция провоспалительных цитокинов – интерлейкина (ИЛ1), фактора некроза опухоли (ФНО α), интерлейкина-6 (ИЛ6), которые и являются причиной увеличения количества лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов и гранулоцитов крови [21, 22].

В данном случае наблюдаемый лейкоцитоз не является проявлением классической воспалительной реакции, а лишь ее «имитация» и предшествует противовоспалительным процессам.

Предложенный механизм действия липосомального препарата не ограничивается только

макрофагальным звеном иммунитета, конечный эффект может оказаться существенно более многогранным в связи с изменением функциональной активности всей иммунной системы при действии иммуностимулирующего липосомального комплекса. Однако подтверждение данной гипотезы требует дальнейших исследований.

Выводы. Применение липосомальной композиции, содержащей йодиноксид, для лечения моделей хирургических ран у крыс показало ее высокую эффективность. У крыс в опытной группе отмечено ускорение ранозаживления и повышение его качества.

Исследование эффективности липосомальной композиции, содержащей йодиноксид, подтвердило ее эффективность на поросятах-сосудах в послекастрационный период в условиях производства по сравнению с используемым в контрольной группе животных препаратом «Монклавит-1». Это проявилось в сокращении сроков полного ранозаживления, интенсивном формировании новых сосудов и регенерации тканей, менее выраженной воспалительной реакции.

Сделано предположение, что липосомы с инкапсулированным оротатом калия, входящие в липосомальную композицию, вызывают активацию макрофагального звена иммунитета, выделение иммунными клетками цитокинов, способствующих сокращению сроков регенерации тканей раны, васкуляризации и качеству ранозаживления.

Список литературы

1. Лазаренко В. А., Иванов С. В., Иванов И. С., Иванов А. В., Цуканов А. В., Тарабрин Д. В., Кулабухов А. С., Тарабрина О. В. Сравнительный анализ влияния витамина С и оротата калия на морфологическую картину при имплантации герминоимплантата в эксперименте. Курский научно-практический вестник. Человек и его здоровье. 2019;(1):33–40. DOI: <https://doi.org/10.21626/vestnik/2019-1/04> EDN: ISFQQY
2. Нагиев Э. Р., Нагиева С. Э., Исмаилова Ф. Э. Исследование содержания уридилловых нуклеотидов и активности аспартаткарбамоилтрансферазы в тканях облученных крыс при введении оротовой кислоты и перфторана. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017;62(5):5–10. DOI https://doi.org/10.12737/article_59f2ef130f5421.00591025 EDN: ZTSXLX
3. Евдокименко П. В. Метилурацил – забытый отечественный лекарственный препарат. Актуальные проблемы экопрофилактики и пути их решения: мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф. Под общ. ред. Д. В. Воробьева, Н. В. Тимушкиной. Саратов: Изд-во "Саратовский источник", 2019. С. 77–79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=TMLUNM> EDN: TMLUNM
4. Козлов П. В., Иванников Н. Ю., Багаева И. И. Профилактика перинатальной патологии при синдроме задержки роста недоношенного плода. Трудный пациент. 2012;10(2-3):15–17.
5. Торшин И. Ю., Громова О. А. Молекулярные механизмы воздействия оротата магния на сердечно-сосудистую систему. Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2008;4(5):63–66. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12791022> EDN: KTXOHV
6. Mohammed A. R., Weston N., Coombes A. G. A., Fitzgerald M., Perrie Y. Liposome formulation of poorly water soluble drugs: optimisation of drug loading and ESEM analysis of stability. International Journal of Pharmaceutics. 2004;285(1-2):23–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2004.07.010>
7. Мосягин В. В., Рыжкова Г. Ф., Сорокина Ю. Е., Зернова А. В. Ранозаживляющий гель с липосомами и способ его получения: пат. №2697669 Российская Федерация. №2019101382: заяв. 17.01.2019; опубл. 16.08.2019. Бюл. № 23. 8 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

8. Павлов И. А. Разработка технологии получения липосомальной формы пеуценидина. Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. 2017;(2):43–46.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36347244> EDN: YMIAJX
9. Ческидова Л. В., Брюхова И. В., Григорьева Н. А. Перспективные направления создания лекарственных средств нового поколения для животных с применением биотехнологий (обзор). Ветеринарный фармакологический вестник. 2019;(2(7)):29–38. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2019.2.29> EDN: EPQCVF
10. Горбик В. С., Шпрах З. С., Козлова Ж. М., Салова В. Г. Липосомы как система таргетной доставки лекарственных средств (обзор). Российский биотерапевтический журнал. 2021;20(1):33–41.
DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2021-20-1-33-41> EDN: GJUXAF
11. Сарбаева Н. Н., Пономарева Ю. В., Милякова М. Н. Макрофаги: разнообразие фенотипов и функций, взаимодействие с чужеродными материалами. Гены и клетки. 2016;11(1):9–17.
12. Гариб Ф. Ю., Ризопулу А. П. Стратегия иммунной эвазии патогенов: супрессия иммунного ответа путем активирования Т-регуляторных клеток хозяина. Иммунология. 2016;37(1):35–46.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25672541> EDN: VPUIIF
13. Федоров А. А., Ермак Н. А., Геращенко Т. С., Тобольнический Е. Б., Шефер Н. А., Родионов Е. О., Стахеева М. Н. Поляризация макрофагов: механизмы, маркеры и факторы индукции. Сибирский онкологический журнал. 2022;21(4):124–136. DOI: <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2022-21-4-124-136> EDN: LYBKUG
14. Мамучиева М. Б., Компанцев Д. В., Саградян Г. В. Получение липосом с наночастицами селена для применения в дерматологии. Курский научно-практический вестник. Человек и его здоровье. 2017;(4):132–135. DOI: <https://doi.org/10.21626/vestnik/2017-4/23> EDN: YMNLSN
15. Хатков Э. М., Базиков И. А., Чеботарев В. В. Создание трансдермального нисомального геля для лечения акне. Современная медицина: актуальные вопросы. 2014;(32):84–90.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21618423> EDN: SFBZEB
16. Попов И. В., Сафроненко А. В., Мазанко М. С., Тягливый А. С., Головин Н. С., Попов И. В., Ермаков А. М. История применения йодсодержащих веществ в асептике и антисептике. Ветеринарная патология. 2021;(4(78)):76–83. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47459952> EDN: BTTKDC
17. Юшков Б. Г. Клетки иммунной системы и регуляция регенерации. Бюллетень сибирской медицины. 2017;16(4):94–105. DOI: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2017-4-94-105> EDN: YQMYBO
18. Атькова Е. Л., Рейн Д. А., Ярцев В. Д., Суббот А. М. Влияние цитокина TGF- β и других факторов на процесс регенерации. Вестник офтальмологии. 2017;133(4):89–96. DOI: <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133489-96> EDN: ZCHWRV
19. Белоглазова И. Б., Зубкова Е. С., Дергилев К. В., Ратнер Е. И., Гусева А. А., Меньшиков М. Ю., Парфенова Е. В. Участие VEGF в регуляции неканонического сигнального пути NOTCH в клетках эндотелия. Кардиологический вестник. 2022;17(2):33–39. DOI: <https://doi.org/10.17116/Cardiobulletin20221702133> EDN: INDAMY
20. Серебренникова С. Н., Семинский И. Ж. Роль цитокинов в воспалительном процессе (сообщение 1). Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2008;81(6):5–8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11701608> EDN: JWBSSL
21. Зинина Е. П., Царенко С. В., Логунов Д. Ю., Тухватулин А. И., Бабаянц А. В., Аврамов А. А. Роль провоспалительных и противовоспалительных цитокинов при бактериальной пневмонии. Обзор литературы. Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова. 2021;(1):77–89. DOI: <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2021-1-77-89> EDN: TZDXAZ
22. Маянская Н. Н., Хидирова Л. Д., Маянская С. Д. Особенности вовлечения клеточных и молекулярных воспалительных механизмов в экспериментальное гормонально-опосредованное повреждение миокарда. Казанский медицинский журнал. 2013;94(5):723–726.

References

1. Lazarenko V. A., Ivanov S. V., Ivanov I. S., Ivanov A. V., Tsukanov A. V., Tarabrin D. V., Kulabukhov A. S., Tarabrina O. V. Comparative analysis of the effect of vitamin C and potassium orotate on the morphological picture during the implantation of a hernia mesh in an experiment. *Kurskiy nauchno-prakticheskiy vestnik. Chelovek i ego zdorov'e* = Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health". 2019;(1):33–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21626/vestnik/2019-1/04>
2. Nagiev E. R., Nagieva S. E., Ismailova F. E. Study of uridylic nucleotides contents and the investigation aspartate carbamoyltransferase in liver and small intestine mucosa exposed when administered to rats orotic acid and perftoran. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'* = Medical Radiology And Radiation Safety. 2017;62(5):5–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_59f2ef130f5421.00591025
3. Evdokimenko P. V. Methyluracil – a forgotten indigenous medicine. Current problems of IVF prevention and ways to solve them: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. *Pod obshch. red. D. V. Vorob'eva, N. V. Timushkinoy*. Saratov: Izd-vo "Saratovskiy istochnik", 2019. pp. 77–79.
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=TMLUNM>
4. Kozlov P. V., Ivannikov N. Yu., Bagaeva I. I. Prevention of perinatal pathology in growth retardation of prematurely burned fetus syndrome. *Trudnyy patsient*. 2012;10(2-3):15–17. (In Russ.).
5. Torshin I. Yu., Gromova O. A. Molecular mechanisms of action of magnesium orotate on cardiovascular system. *Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii* = Rational Pharmacotherapy in Cardiology. 2008;4(5):63–66. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12791022>
6. Mohammed A. R., Weston N., Coombes A. G. A., Fitzgerald M., Perrie Y. Liposome formulation of poorly water soluble drugs: optimisation of drug loading and ESEM analysis of stability. *International Journal of Pharmaceutics*. 2004;285(1-2):23–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2004.07.010>

7. Mosyagin V. V., Ryzhkova G. F., Sorokina Yu. E., Zernova A. V. Wound healing gel with liposomes and the method of its preparation: Patent RF, no. 2697669, 2019. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
8. Pavlov I. A. Development of technology to achieve peutsenidinaliposomal form. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Meditsina i farmatsiya* = BSU bulletin. Medicine and pharmacy. 2017;(2):43–46. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36347244>
9. Cheskidova L. V., Bryukhova I. V., Grigoreva N. A. Advanced research directions of creation of new generation medicines for animals with application of biotechnologies (review). *Veterinarnyy farmakologicheskyy vestnik* = Bulletin of veterinary pharmacology. 2019;(2(7)):29–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2019.2.29>
10. Gorbik V. S., Shprakh Z. S., Kozlova Z. M., Salova V. G. Liposomes as a targeted delivery system of drugs (review). *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal* = Russian Journal of Biotherapy. 2021;20(1):33–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2021-20-1-33-41>
11. Sarbaeva N. N., Ponomareva Yu. V., Milyakova M. N. Macrophages: diversity of phenotypes and functions, interaction with foreign materials. *Geny i kletki* = Genes & Cells. 2016;11(1):9–17. (In Russ.).
12. Garib F. Yu., Rizopulu A. P. Strategy of immune evasion of pathogens: the suppression of immune response by host's T-regulatory cells activation. *Immunologiya*. 2016;37(1):35–46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25672541>
13. Fedorov A. A., Ermak N. A., Gerashchenko T. S., Topolnitskii E. B., Shefer N. A., Rodionov E. O., Stakheyeva M. N. Polarization of macrophages: mechanisms, markers and factors of induction. *Sibirskiy onkologicheskii zhurnal* = Siberian journal of oncology. 2022;21(4):124–136. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2022-21-4-124-136>
14. Mamuchieva M. B., Kompantsev D. V., Sagradyan G. V. Obtaining the liposomes with nanoparticles of selenium for applying it in dermatology. *Kurskiy nauchno-prakticheskiy vestnik. Chelovek i ego zdorov'e* = Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health". 2017;(4):132–135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21626/vestnik/2017-4/23>
15. Khatkov E. M., Bazikov I. A., Chebotarev V. V. Creating transdermal niosomal gel for acne treatment. *Sovremennaya meditsina: aktual'nye voprosy*. 2014;(32):84–90. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21618423>
16. Popov I. V., Safronenko A. V., Mazanko M. S., Tyaglivyy A. S., Golovin N. S., Popov I. V., Ermakov A. M. History of the application of iodine-containing substances in assepsis and antisepsis. *Veterinarnaya patologiya* = Veterinary Pathology. 2021;(4(78)):76–83. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47459952>
17. Yushkov B. G. Immune system and regulation of regeneration. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* = Bulletin of Siberian Medicine. 2017;16(4):94–105. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2017-4-94-105>
18. At'kova E. L., Reyn D. A., Yartsev V. D., Subbot A. M. Influence of TGF- β cytokine and a number of other biochemical factors on regenerative process. *Vestnik oftal'mologii*. 2017;133(4):89–96. DOI: <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133489-96>
19. Beloglazova I. B., Zubkova E. S., Dergilev K. V., Ratner E. I., Guseva A. A., Menshikov M. Yu., Parfenova E. V. VEGF in regulation of non-canonical NOTCH signaling pathway in endothelial cells. *Kardiologicheskii vestnik* = Russian Cardiology Bulletin. 2022;17(2):33–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17116/Cardiobulletin20221702133>
20. Serebrennikova S. N., Seminskiy I. Zh. The role of cytokines in the inflammatory process (part 1). *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)*. 2008;81(6):5–8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11701608>
21. Zinina E. P., Tsarenko S. V., Logunov D. Yu., Tukhvatulin A. I., Babayants A. V., Avramov A. A. The role of proinflammatory and anti-inflammatory cytokines in bacterial pneumonia. review. *Vestnik intensivnoy terapii imeni A. I. Saltanova* = Annals of Critical Care. 2021;(1):77–89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2021-1-77-89>
22. Mayanskaya N. N., Hidirova L. D., Mayanskaya S. D. Features of cellular and molecular inflammatory mechanisms involvement in hormone-mediated myocardial experimental injury. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal* = Kazan medical journal. 2013;94(5):723–726 (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Мосягин Владимир Владимирович**, доктор биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 70 б, ул. Карла Маркса, г. Курск, Российская Федерация, 305021, e-mail: kurskfarc@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6970-395X>, e-mail: ugnoe_nebo@list.ru

Попов Виктор Сергеевич, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 70 б, ул. Карла Маркса, г. Курск, Российская Федерация, 305021, e-mail: kurskfarc@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3404-1591>

Рыжкова Галина Федоровна, доктор биол. наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и химии имени профессора А. А. Сысоева, ФГБОУ ВО «Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова», 70, ул. Карла Маркса, г. Курск, Российская Федерация, 305021, e-mail: kursksau@kursksau.ru

Information about the authors

✉ **Vladimir V. Mosyagin**, DSc in Biology, senior researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center, K. Marx Street, 70 b, Kursk, Russian Federation, 305021, e-mail: kurskfarc@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6970-395X>, e-mail: ugnoe_nebo@list.ru

Victor S. Popov, DSc in Veterinary, leading researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center, K. Marx Street. 70 b, Kursk, Russian Federation, 305021, e-mail: kurskfarc@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3404-1591>

Galina F. Ryzhkova, DSc in Biology, professor, Head of the Department of Physiology and Chemistry named after professor A. A. Sysoev, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, K. Marx Street, 70, Kursk, Russian Federation, 305021, e-mail: kursksau@kursksau.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка гормонального и антиоксидантного статуса организма овец разных возрастных групп

© 2024. Н. В. Боголюбова✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Дубровицы, Российская Федерация

Цель данного исследования – изучение некоторых показателей антиоксидантного и гормонального статуса в организме овцематок и молодняка овец романовской породы, а также выявление корреляций между изученными индикаторами. Эксперимент проведен в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста в 2022 году в весенний период при стойловом содержании, на 2 группах овцематок (через 30 дней, $n = 15$ и 90 дней после окота, $n = 14$) и 3 группах молодняка романовской породы (в возрасте 1 месяца, $n = 15$; 3 месяцев, $n = 14$; 4 месяцев, $n = 13$). В крови определены показатели антиоксидантного и гормонального статуса. Математическую и статистическую обработку результатов проводили с использованием методов описательной статистики, однофакторного дисперсионного, корреляционного анализа. Высокий уровень общего антиоксидантного статуса в крови овцематок через 3 месяца после окота (2,38 мМ/л) указывает на успешную адаптацию к окислительному стрессу и накоплению ПОЛ путем использования антиоксидантов ферментативного и неферментативного звена. В крови ягнят при отъеме наблюдается максимальное накопление ТБК-АП по сравнению с животными в месячном возрасте (3,49 против 3,21 мкМ/л при $p \leq 0,05$), что компенсируется организмом за счет повышения уровня церулоплазмينا и каталазного числа. В более старшем возрасте организм проявляет адекватную адаптацию к послеотъемному стрессу, что проявляется в снижении уровня ТБК-АП на 24,93 % ($p \leq 0,05$), повышении концентрации церулоплазмينا, снижении активности пероксидазы (на 28,47 % при $p \leq 0,001$ и 8,13 % по сравнению с возрастом 1 и 3 месяца соответственно), повышении соотношения ТБК-АП/ЦП. Полученные знания о возрастных и физиологических изменениях показателей ПОЛ, АОЗ и гормонального статуса будут полезны при оценке состояния здоровья и помогут оказанию своевременных профилактических мероприятий, повышающих адаптивные возможности организма овец и наиболее полной реализации генетического потенциала продуктивности.

Ключевые слова: овцематки, молодняк овец, кортизол, T4, антиоксидантный статус

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР ГЗ 124020200032-4).

Автор благодарит рецензентов за их вклад экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Боголюбова Н. В. Оценка гормонального и антиоксидантного статуса организма овец разных возрастных групп. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):691–699.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.691-699>

Поступила: 06.02.2024

Принята к публикации: 12.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Assessment of the hormonal and antioxidant status of the sheep of different age groups

© 2024. Nadezhda V. Bogolyubova✉

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Russian Federation

The purpose of the research was to study some indicators of antioxidant and hormonal status in the body of ewes and young sheep of the Romanov breed, as well as to identify correlations between the studied indicators. The experiment was carried out in the physiological yard of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry in spring of 2022 with stall housing, on 2 groups of ewes (30 days, $n = 15$ and 90 days after lambing, $n = 14$) and 3 groups of young Romanov breed (aged 1, $n = 15$, 3, $n = 14$ and 4 months, $n = 13$). Indicators of antioxidant and hormonal status were determined in the blood. Mathematical and statistical processing of the results was carried out using methods of descriptive statistics, one-way analysis of variance, and correlation analysis. The high level of total antioxidant status in the blood of ewes 3 months after lambing (2.38 mmol/l) indicates successful adaptation to oxidative stress and LPO accumulation through the use of enzymatic and non-enzymatic antioxidants. In the blood of lambs upon weaning, the maximum accumulation of TBA-AP is observed compared to animals at one month of age (3.49 versus 3.21 $\mu\text{M/l}$ at $p \leq 0.05$), which is compensated by the body by increasing the level of ceruloplasmin and catalase number. At an older age, the body shows adequate adaptation to post-weaning stress, which is manifested in a decrease in the level of TBA-AP by 24.93 % ($p \leq 0.05$), an increase in the concentration of ceruloplasmin, a decrease in peroxidase activity (by 28.47 % at $p \leq 0.001$ and 8.13 %, compared with the age of 1 and 3 months, respectively), increasing the TBA-AP/CP ratio. The acquired knowledge about age-related and physiological changes in LPO, AOD and hormonal status will be useful in assessing the health status and will help to provide timely preventive measures that increase the adaptive capabilities of the sheep's body and the fullest realization of the genetic potential of productivity.

Keywords: ewes, young sheep, cortisol, T4, antioxidant status

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (registration number of the EGISU research theme 124020200032-4).

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

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

For citations: Bogolyubova N. V. Assessment of the hormonal and antioxidant status of the sheep of different age groups. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):691–699. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.691-699>

Received: 06.02.2024

Accepted for publication: 12.07.2024

Published online: 28.08.2024

Быстрый рост населения в мире увеличивает спрос на производство животноводческой продукции высокого качества, в получении которой главную роль играет здоровье животных. Высокий генетический потенциал продуктивности, обуславливающий интенсивность обменных процессов, меняющиеся условия питания, содержания и экологическая обстановка вынуждает уделять особое внимание вопросам обеспечения адаптации сельскохозяйственных животных, которые на протяжении всей своей жизни подвергаются стрессу [1]. Особую актуальность на сегодняшний день приобретает поиск, изучение биомаркеров, характеризующих состояние здоровья животных.

Известно, что антиоксидантная защита организма определяет реакцию организма на окислительный стресс, являющийся следствием воздействия стресса любой этиологии на организм [2]. Поэтому изучение антиоксидантного статуса организма животных, особенно в периоды воздействия стрессов, является очень важным.

Антиоксидантный статус организма тесно связан с гормональным. Поскольку гормоны контролируют метаболическую активность, которая требует расхода кислорода, неполное восстановление которого является источником активных форм кислорода (АФК), то любое изменение в гормональной среде аэробных клеток может существенно повлиять на выработку АФК в живых системах и таким образом может влиять на окислительно-восстановительный статус [3]. В отличие от антиоксидантных свойств таких гормонов, как мелатонин, инсулин, эстроген и прогестерон, гормоны щитовидной железы, кортикостероиды и катехоламины могут увеличивать выработку свободных радикалов и окислительный стресс из-за дисбаланса окислительно-восстановительного статуса [3, 4]. Изучению влияния антиоксидантной защиты (АОЗ) в организме овец посвящено множество работ. Влияние на состояние АОЗ организма животных различных

климатических условий описано в работах [5, 6], сезона года [7], физиологического состояния животных [8], алиментарных факторов [9]. Рассмотрена взаимосвязь между состоянием АОЗ и репродуктивной функцией [10].

Тем не менее, несмотря на большое биологическое значение процессов свободнорадикального окисления липидов и состояния системы антиоксидантной защиты организма мало данных, указывающих на влияние возраста и физиологического состояния овец романовской породы на показатели АОЗ и гормональный статус, а также исследований, касающихся связи между этими индикаторами здоровья. Полученные данные будут способствовать правильному управлению этими процессами для сохранения статуса здоровья, получения крепкого потомства и качественной продукции овцеводства. Оценка возрастных изменений изучаемых процессов в организме молодняка будет полезна при анализе состояния здоровья в адаптационный период с целью предотвращения возможных негативных последствий.

Цель исследований – изучение некоторых показателей антиоксидантного и гормонального статуса в организме овцематок и молодняка овец романовской породы, а также выявление корреляций между изученными индикаторами.

Научная новизна – впервые в сравнительном аспекте изучены показатели антиоксидантного и гормонального статуса в организме различных половозрастных групп овец романовской породы и выявлены корреляции между определенными показателями.

Материал и методы. Эксперимент проведен в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста в 2022 году в весенний период при стойловом содержании на 2 группах овцематок (через 30 дней и 90 дней после окота) и 3 группах молодняка романовской породы (в возрасте 1,3 и 4 месяцев). Схема опыта представлена в таблице 1.

*Таблица 1 – Схема исследований /
Table 1 – Research design*

| <i>Группа животных / Group of animals</i> | <i>Количество голов / Number of heads</i> |
|--|---|
| Овцематки, месяц после окота / Ewes, a month after lambing | 15 |
| Овцематки 3 месяца после окота, после отъема / Ewes, 3 months after lambing, after weaning | 14 |
| Молодняк на подсосе, возраст 1 месяц / Young animals on suction, age 1 month | 15 |
| Молодняк при отъеме, возраст 3 месяца / Young animals at weaning, age 3 months | 14 |
| Молодняк через месяц после отъема, возраст 4 месяца / Young animals a month after weaning, age 4 months | 13 |

Овцематки потребляли основной общехозяйственный рацион для лактирующих жвачных животных, соответствующий стойловому содержанию, состоящий из сена и концентрированных кормов (до 40–50 % энергетической питательности рациона) согласно нормам кормления¹.

Ягнят с рождения до 3-месячного возраста содержали на подсосе с овцематками, рацион был сбалансирован по нормам для данной половозрастной группы и состоял из комбикорма 150–200 г на голову в сутки² и сена разнотравного в свободном доступе. В 3-месячном возрасте ягнят отбили от маток, они получали сбалансированный рацион из сена и 300 г концентратов.

У животных кровь отбирали с использованием одноразовых вакуумных пробирок Vacuette (GreinerBio-One, Австрия). Для получения сыворотки кровь центрифугировали при 5000 оборотах в течение 5 минут.

В процессе проведения исследований определены показатели антиоксидантного статуса (АОС): суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (СКВА) – методом амперометрического детектирования на приборе ЦветЯуза-01-АА («Химаавтоматика», Россия), концентрация ТБК-активных продуктов (ТБК-АП) с помощью наборов «ТБК-Агат» («Агат-Мед», Россия), церулоплазмин – по методу Ревина, общий антиоксидантный статус (ОАС) с использованием коммерческих наборов Elabscience (КНР), каталазное число – методом А. Н. Баха и С. Р. Зубковой, активность пероксидазы – по И. П. Кондрахину (КФ 1.11.1.7), соотношение ТБК-АП/ЦП – расчетным методом; гормонального статуса –

концентрацию в сыворотке крови кортизола и тиреоидного гормона Т4 с использованием наборов «ИФА-ТТ4» (ЗАО «НВО Иммунотех», Россия) методом иммуноферментного анализа на приборе Фотометр Immunochem-2100.

Математическую и статистическую обработку результатов проводили с применением программных пакетов Microsoft Office Excel 2003, STATISTICA 10 (Statistica 13RU, StatSoft, США) с использованием методов описательной статистики, однофакторного дисперсионного анализа (MANOVA), корреляционного анализа. Данные были проверены на нормальность распределения по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Рассчитывались средние значения (М), стандартные ошибки средних (\pm SEM), t-критерий Стьюдента, коэффициенты корреляции по Пирсону. Отличия являлись статистически достоверными при $p \leq 0,05$, высокодостоверными – при $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$.

Результаты и их обсуждение. В работе изучены некоторые показатели АОЗ в организме овцематок через месяц после окота и при отъеме ягнят (табл. 2).

Сравнение показателей, полученных при анализе изучаемых групп овцематок, показало, что с течением лактации наблюдается убывание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), что выражается в снижении концентрации ТБК-АП (1,68 мкМ/л через 3 месяца после окота против 2,31 мкМ/л через месяц после окота при $p \leq 0,05$). При этом уровень церулоплазмينا с продолжением лактации снижается, что возможно компенсирует воздействие продуктов ПОЛ. Аналогичная тенденция в снижении наблюдается и в отношении

¹Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание перераб. и доп. Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. М., 2003: 456.

URL: <https://studylib.ru/doc/6511032/normy-i-raciony-kormleniya-kalashnikova>

²Там же.

уровня пероксидазы с течением лактации (на 27,64 % через 3 месяца после окота при $p \leq 0,05$), и уровня СКВА. Каталазное число, напротив, при отъеме ягнят повышается на 2,06 единицы по сравнению с уровнем в крови через месяц после окота ($p \leq 0,05$). Таким образом, организм овцематок с течением лактации

успешно адаптируется к окислительному стрессу и накоплению ПОЛ путем использования антиоксидантов ферментативного и неферментативного звена, что подтверждается более высоким уровнем общего антиоксидантного статуса в крови через 3 месяца после окота.

Таблица 2 – Некоторые показатели антиоксидантного статуса в организме овцематок романовской породы /

Table 2 – Some indicators of antioxidant status in the body of ewes of the Romanov breed

| Показатель/ Index | Месяц после окота/ Month after lambing | |
|---|---|--------------------|
| | 1 (n = 15) | 3 (n = 14) |
| ТБК АП, мкМ/л / TBK AP, μ M/l | 2,31 \pm 0,22 | 1,68 \pm 0,10* |
| Церулоплазмин, мг/л / Ceruloplasmin, mg/l | 221,13 \pm 8,45 | 194,79 \pm 18,42 |
| СКВА, мг/л / TCWSA, mg/l | 11,21 \pm 0,55 | 10,54 \pm 0,42 |
| Общий антиоксидантный статус, мМ/л / Total antioxidant status, mM/l | 2,10 \pm 0,15 | 2,38 \pm 0,12 |
| Каталазное число, ед. / Catalase number, units. | 7,32 \pm 0,11 | 9,38 \pm 1,02* |
| Пероксидаза, ед.опт.пл./л*с / Peroxidase, units of opt.pl./l*s | 42,36 \pm 5,41 | 30,65 \pm 7,0* |
| ТБК-АП/ЦП / TBK-AP/CP | 0,01 | 0,009 |

* Достоверно при $\leq 0,05$ / * It is reliable when $p \leq 0.05$

Наши результаты исследований совпадают с полученными А. П. Курденко и др. (2019), которые установили, что в динамике лактации коров самым критическим является второй месяц. В этот период в сыворотке крови установлена более высокая концентрация продуктов свободнорадикального окисления и низкий функциональный уровень ферментативного и неферментативного звеньев АОЗ. На 3–5-ом месяце лактации у коров процессы восстановления преобладают над процессами окисления, что является результатом активизации системы АОЗ [11]. На уровень АОЗ животных влияют условия их содержания. Стрессы различной этиологии, например технологический, который в исследованиях авторов проявлялся в скученности новотельных коров, способствовал возникновению окислительного стресса (ОС) в организме, что приводило к большей проницаемости молочной железы [12].

ОС и функциональная недостаточность АОЗ вызывают также нарушения в воспроизводительной функции животных [13, 14, 15]. М. И. Рецкий и соавторы (2011) считают, что это может быть связано со снижением утилизации и накоплением избыточных количеств токсических продуктов ПОЛ, ведущих к дисфункции биологических мембран эндотелиальных клеток капилляров и развитию воспа-

лительного процесса [16]. Исследования некоторых ученых показывают, что образование АФК в организме лактирующих животных увеличивается не только в начале лактации, но и при переходе с ранней лактации на среднюю, когда происходит большое количество метаболических и физиологических адаптаций, приводящих к дисфункции и воспалению организма хозяина [17].

Показатели АОЗ в организме молодняка овец различного возраста даны в таблице 3.

Развитие стрессового состояния в организме животных в раннем постнатальном онтогенезе, сопряженное с осуществлением специфических адаптивных реакций, приводит к существенному изменению в течении свободнорадикальных реакций. Влияние на организм молодняка экзогенных и эндогенных факторов, являющихся стрессорами, усугубляет процессы активной адаптации к новым условиям среды обитания. В наших исследованиях в 3-месячном возрасте в крови ягнят происходит повышение накопления ТБК-АП по сравнению с животными в месячном возрасте (3,49 против 3,21 мкМ/л при $p \leq 0,05$), к 4-месячному возрасту этот показатель снижается (2,62 мкМ/л при $p \leq 0,05$ по сравнению с ягнятами месячного возраста). Уровень церулоплазмينا линейно увеличивается с возрастом ягнят. Так, в месячном возрасте этот показа-

тель составил 287,20, в 3-месячном – 348,64, в 4-месячном – 387,50 мг/л. Данные тенденции мы наблюдали при изучении возрастных изменений показателей АОЗ в организме крупного рогатого скота [18]. Уровень СКВА с возрас-

том овец в наших исследованиях практически не изменяется. В организме КРС с возрастом этот показатель претерпевал значительные изменения, как было показано в наших исследованиях прошлых лет.

Таблица 3 – Некоторые показатели антиоксидантного статуса в организме молодняка овец романовской породы /

Table 3 – Some indicators of antioxidant status in the body of young sheep of the Romanov breed

| Показатель / Index | Молодняк в возрасте, мес./ Young animals aged, months | | |
|--|--|--------------|--------------|
| | 1 (n = 15) | 3 (n = 14) | 4 (n = 13) |
| ТБК-АП, мкМ/л / TBK AP, μM/l | 3,21±0,23 | 3,49±0,25* | 2,62±0,10*** |
| Церулоплазмин, мг/л / Ceruloplasmin, mg/l | 287,20±11,49 | 348,64±18,64 | 387,50±17,58 |
| СКВА, мг/л / TCWSA, mg/l | 16,82±1,04 | 16,10±0,41 | 15,21±0,57 |
| Общий антиоксидантный статус, мМ/л / Total antioxidant status, mM/l | 2,02±0,08 | 2,10±0,32 | 2,15±0,21 |
| Каталазное число, ед. / Catalase number, units. | 9,65±0,21 | 10,98±1,32 | 8,25±0,95 |
| Пероксидаза, ед.опт.пл./л*с / Peroxidase, units of opt.pl./l*s | 39,65±3,28 | 30,87±5,32* | 28,36±3,64** |
| ТБК-АП/ЦП / TBK-AP/CP | 0,01 | 0,01 | 0,007 |

*Различия статистически достоверны по сравнению с животными в возрасте 1 месяц при $p \leq 0,05$;

** при $p \leq 0,01$; ***по сравнению с животными в возрасте 3 месяцев при $p \leq 0,05$ /

*The differences in comparison are statistically significant with animals aged 1 month at $p \leq 0.05$; ** at $p \leq 0.01$;
***compared with animals of 3 months at $p \leq 0.05$

В экспериментах на козах зааненской породы разных возрастов установлено, что у животных с возрастом развивается ОС, который до 4-летнего возраста характеризуется параллельным повышением показателей ПОЛ и АОЗ, а у 5-летних животных – активность антиоксидантных ферментов снижается на фоне увеличения продуктов ПОЛ [19]. В наших исследованиях у овец в 3-месячном возрасте ОС характеризуется компенсацией со стороны АОЗ организма, что проявляется в повышении концентрации ТБК-АП при одновременном повышении уровня церулоплазмина и каталазного числа. При достижении молодняком возраста 4 месяцев организм еще больше компенсирует ОС, что проявляется в снижении уровня ТБК-АП на 24,93 % ($p \leq 0,05$), при повышении концентрации церулоплазмина и снижении активности пероксидазы (на 28,47 % при $p \leq 0,001$ и 8,13 % по сравнению с возрастом 1 и 3 месяца соответственно). Соотношение ТБК-АП/ЦП у 4-месячных ягнят ниже, чем у их аналогов 1- и 3-месячного возраста, что указывает на адекватную адаптацию организма к послеотъемному стрессу (отъем от маток осуществляли в 3-месячном возрасте).

Методом однофакторного дисперсионного анализа рассчитано влияние факторов «день после окота» и «возраст» на некоторые

показатели АОЗ в организме овцематок и молодняка овец (табл. 4). Из данных таблицы 4 видно, что фактор «возраст» с высокой степенью достоверности влияет на уровень церулоплазмина ($p = 0,0007$) в крови и достоверно – на содержание ТБК-АП ($p = 0,03$). Фактор «день после окота» оказал достоверное влияние только на содержание ТБК-АП ($p = 0,015$).

Результаты исследований сыворотки крови овцематок и молодняка овец на содержание Т4 и кортизола даны в таблице 5. Зафиксировано, что с возрастом животных в крови отмечены повышенные концентрации кортизола, что связано с возрастающим влиянием различных стресс-факторов на организм животных. Так, уровень кортизола в крови молодняка в 3-месячном возрасте (при отъеме от маток) был выше в 2 раза ($p \leq 0,05$), чем в месячном, что может свидетельствовать о подверженности организма молодняка воздействию отъемного стресса. Кортизол – гормон коры надпочечников является гормоном стресса и защищает организм от любых резких изменений физиологического равновесия, воздействуя на метаболизм белков, углеводов, липидов и электролитный баланс. Под его влиянием усиливается протеолиз (глюконеогенез) с последующим образованием из продуктов распада углеводов.

Таблица 4 – Влияние факторов «день после окота» и «возраст» на некоторые показатели АОЗ в организме овцематок и молодняка овец /
Table 4 – Influence of the factor “day after lambing” and «age» on some indicators of AOD in the ewes and young sheep

| Показатель / Index | P-value | R ² |
|---|---------|----------------|
| «День после окота», овцематки / "The day after the lambing", ewes | | |
| ТБК-АП, мкМоль/л / ТВК-АР, μМ/л | 0,015 | 0,17 |
| Церулоплазмин, мг/л / Ceruloplasmin, mg/l | 0,19 | 0,03 |
| СКВА, мг/л / TCWSA, mg/l | 0,35 | 0,003 |
| «Возраст», молодняк овец / "Age", young sheep | | |
| ТБК-АП, мкМоль/л / ТВК-АР, μМ/л | 0,03 | 0,12 |
| Церулоплазмин, мг/л / Ceruloplasmin, mg/l | 0,0007 | 0,29 |
| СКВА, мг/л / TCWSA, mg/l | 0,34 | 0,005 |

Таблица 5 – Некоторые индикаторы гормонального статуса у овцематок и молодняка овец романовской породы /
Table 5 – Some indicators of hormonal status in ewes and young sheep of the Romanov breed

| Показатель / Index | Овцематки после окота / Ewes after lambing | | Молодняк в возрасте, мес. / Young animals aged, months | | |
|------------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------|--------------|
| | 1 месяц / 1 month (n = 15) | 3 месяца / 3 months (n = 14) | 1 (n = 15) | 3 (n = 14) | 4 (n = 13) |
| Кортизол, нМ/л / Cortisol, nM/l | 95,89±8,87 | 139,03±15,78* | 113,71±12,10 | 290,36±81,06* | 198,88±44,56 |
| T4, нМ/л / T4, nM/l | 59,20±3,86 | 56,12±4,37 | 72,65±3,87 | 49,66±7,36* | 33,98±8,20** |

Различия статистически достоверны: *по сравнению с овцематками через месяц после окота при $p \leq 0,05$;
** с животными 1 месяца при $p \leq 0,05$ /

Differences in comparison are statistically significant: *with ewes a month after lambing at $p \leq 0.05$;
**differences in comparison are statistically significant with animals of 1 month at $p \leq 0.05$;

Суягность, окот и лактация в течение продуктивной жизни овцы вызывают метаболические, эндокринологические, поведенческие и физиологические изменения в организме. Кортизол является распространенным индикатором для изучения физиологических изменений и стрессовых ситуаций у беременных и кормящих животных. При этом обнаружена линейная зависимость между концентрацией кортизола в крови и фекалиях овцематок [20]. В наших исследованиях концентрация кортизола в крови овцематок при отъеме ягнят составила 139,03 нМ/л, что на 45 % выше, чем через месяц после окота ($p \leq 0,05$). В других исследованиях, проведенных на овцематках 3- и 7-летнего возраста, не выявлено достоверного влияния фактора «возраст» на уровень кортизола в крови [21].

Тироксин, являясь гормоном щитовидной железы, участвует в регуляции интенсивности дыхания клеток, поглощения кислорода митохондриями, способствует усилению окислительных реакций и основного обмена в орга-

низме. Тиреоидные гормоны оказывают значительное воздействие на активность ферментов, рост и дифференцировку тканей организма, регулируют обмен белков путем поддержания равновесия между анаболическими и катаболическими процессами. Работа тиреоидных гормонов проявляется на клеточном уровне в регуляции процессов окисления жирных кислот (ЖК) в митохондриях. Также одной из функций этих гормонов является регуляция процесса всасывания глюкозы в ЖКТ, содержания сахара в крови и синтеза гликогена в печени, синтеза липидов. Они принимают участие в метаболизме большого числа минеральных элементов и воды путем воздействия на кору надпочечников и инкрецию минералокортикостероидов. Уровни этого гормона в крови овцематок разных групп находятся примерно на одном уровне (59,20 и 56,12 нМ/л), что согласуется с ранее полученными результатами М. З. Исмаил с соавт. (M. Z. Ismail et. al.) (2023) [22].

В крови ягнят концентрация Т4 снижается в 3-месячном возрасте на 31,64 % ($p \leq 0,05$), в 4-месячном – на 53,23 % ($p \leq 0,01$) по сравнению с месячными ягнятами. Наши данные согласуются с результатами, полученными Е. Вальви с соавт. (E. Valavi et al.) (2022), которые установили снижение уровня тиреоидных гормонов в крови козлят в возрасте от 1- до 3-месяцев [23]. Получив аналогичные результаты на телятах П. Медика с соавт. (P. Medica et al.) (2020), был сделан вывод о том, что самые высокие концентрации Т3 и Т4

связаны с ранним процессом роста (10 дней), с тенденцией к увеличению к 210-му дню, предполагая вероятный метаболический эффект функции щитовидной железы в анаболическом и/или катаболическом направлении в процессе развития организма телят [24].

Для определения взаимосвязей некоторых индикаторов гормонального и антиоксидантного статуса в организме овцематок и ягнят были рассчитаны коэффициенты корреляции по Пирсону (табл. 6).

**Таблица 6 – Корреляции между индикаторами гормонального и антиоксидантного статуса у овцематок и молодняка овец романовской породы /
Table 6 – Correlations between indicators of hormonal and antioxidant status in ewes and young sheep of the Romanov breed**

| Показатель / Index | СКВА / TCWSA | Церулоплазмин / Ceruloplasmin | ТБК-АП / TBA-AP |
|--|--------------|-------------------------------|-----------------|
| Овцематки (n=29) / Ewes (n=29) | | | |
| Тироксин / Thyroxine | 0,006 | -0,09 | -0,23 |
| Кортизол / Cortisol | -0,06 | 0,02 | -0,27 |
| Молодняк (n=42) / Young animals (n=42) | | | |
| Тироксин / Thyroxine | 0,11 | -0,39* | 0,35* |
| Кортизол / Cortisol | -0,12 | 0,06 | 0,07 |

Примечания: СКВА – суммарное количество водорастворимых антиоксидантов, ТБК-АП – продукты, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой, * $p < 0,05$ /

Notes: TCWSA – is the total amount of water-soluble antioxidants, ТБК-АП – are products that react with thiobarbituric acid, * $p < 0.05$

Не обнаружено достоверных корреляций между уровнем тироксина и кортизола, некоторыми показателями ПОЛ и АОЗ в организме овцематок. В организме молодняка овец романовской породы обнаружена достоверная отрицательная корреляция между уровнем тироксина и церулоплазмينا ($r = 0,39$ при $p \leq 0,05$) и положительная – между тироксином и концентрацией ТБК-АП ($r = 0,35$ при $p \leq 0,05$). Наши результаты согласуются с полученными другими авторами, которые установили, что гормоны щитовидной железы могут регулировать активность супероксиддисмутазы (СОД), каталазы и глутатионпероксидазы (ГП) [25]. Эти ученые изучали взаимосвязь между содержанием гормонов щитовидной железы, антиоксидантных ферментов, эритроцитов и микроэлементов в крови иранских коз. Наблюдались значительные корреляции между содержанием трийодтиронина (Т3) и глутатионпероксидазы ($P < 0,05$; $r = 0,203$), тироксина (Т4) и глутатионпероксидазы ($P < 0,05$; $r = 0,312$), что обусловлено важной ролью гормонов щито-

видной железы в липидном обмене и антиоксидантной активности глутатионпероксидазы в перекисном окислении липидов. В другом эксперименте на крысах Т3 также заметно влиял на состояние ПОЛ и активность антиоксидантных ферментов [26]. В исследованиях авторов [27] было также продемонстрировано, что статус щитовидной железы контролирует систему антиоксидантной защиты митохондрий, регулируя деятельность СОД, каталазы и ГП.

Заключение. Полученные результаты указывают на изменения антиоксидантного и гормонального статуса в организме овцематок в зависимости от физиологического состояния и молодняка овец романовской породы с возрастом. Организм овцематок с течением лактации успешно адаптируется к окислительному стрессу и накоплению ПОЛ путем использования антиоксидантов ферментативного и неферментативного звена, что подтверждается более высоким уровнем общего антиоксидантного статуса в крови через 3 месяца после окота. В 3-месячном возрасте в крови ягнят

наблюдается максимальное накопление ТБК-АП по сравнению с животными в месячном возрасте. При этом ОС характеризуется компенсацией со стороны АОЗ организма, что проявляется в одновременном повышении уровня церулоплазмينا и каталазного числа. В более старшем возрасте организм показывает адекватную адаптацию к послеотъемному стрессу, что выражается в снижении уровня ТБК-АП, повышении концентрации церулоплазмينا, понижении активности пероксидазы, соотно-

шения ТБК-АП/ЦП. Отмеченные корреляции между показателями гормонального и антиоксидантного статуса в организме овец требуют дальнейшего изучения. Выявленные закономерности изменений изучаемых показателей послужат теоретическим обоснованием для разработки практических приемов регуляции уровня свободно-радикальных реакций в организме овцематок и молодняка овец романовской породы, что имеет большое практическое значение.

References

1. Tüfekci H., Sejian V. Stress factors and their effects on productivity in sheep. *Animals*. 2023;13(17):2769. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13172769>
2. Slimen I. B., Chniter M., Najar T., Ghram A. Meta-analysis of some physiologic, metabolic and oxidative responses of sheep exposed to environmental heat stress. *Livestock Science*. 2019;229:179–187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.026>
3. Sahoo D. K., Chainy G. B. Hormone-linked redox status and its modulation by antioxidants. *Vitamins and hormones*. 2023;121:197–246. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.vh.2022.10.007>
4. Chainy G. B., Sahoo D. K. Hormones and oxidative stress: an overview. *Free Radical Research*. 2020;54(1):1–26. DOI: <https://doi.org/10.1080/10715762.2019.1702656>
5. Guo H., Zhou G., Tian G., Liu Y., Dong N., Li L., Zhang S., Chai H., Chen Y., Yang Y. Changes in rumen microbiota affect metabolites, immune responses and antioxidant enzyme activities of sheep under cold stimulation. *Animals*. 2021;11(3):712. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11030712>
6. Yaqub L. S., Ayo J. O., Habibu B., Lawal M., Kawu M. U., Rekwot P. I. Thermoregulatory, oxidative stress and lipid responses in prepartum ewes administered with l-carnosine during the hot-dry season. *Tropical Animal Health and Production*. 2021;53:388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02832-x>
7. Rathwa S. D., Vasava A. A., Pathan M. M., Madhira S. P., Patel Y. G., Pande A. M. Effect of season on physiological, biochemical, hormonal, and oxidative stress parameters of indigenous sheep. *Veterinary world*. 2017;10(6):650–654. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.650-654>
8. Nawito M. F., Abd El Hameed A. R., Sosa A. S. A., Mahmoud K. G. M. Impact of pregnancy and nutrition on oxidant/antioxidant balance in sheep and goats reared in South Sinai, Egypt. *Veterinary World*. 2016;9(8):801–805. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.801-805>
9. Shedeed H. A., Farrag B., Elwakeel E. A., Abd El-Hamid I. S., El-Rayes M. A. H. Propolis supplementation improved productivity, oxidative status, and immune response of Barki ewes and lambs. *Veterinary world*. 2019;12(6):834–843. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.834-843>
10. Sa'ayinzat F. E., Bawa E. K., Ogwu D., Ayo J. O. Oxidative stress and its effects on reproductive performance in thermally-stressed ewes. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*. 2021;15(16):17. DOI: <https://doi.org/10.22271/veterinary.2021.v6.i4a.361>
11. Курдеко А. П., Сологуб Е. А. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у коров в динамике лактации. Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2019;55(3):38–41.
Kurdeko A. P., Sologub E. A. Lipid peroxidation and antioxidant protection in cows in lactation dynamics. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny»*. 2019;55(3):38–41. (In Belarus).
12. Lin S., Liu J., Wang K., Wang D. M. Effects of stocking density on oxidative stress status and mammary gland permeability in early lactating dairy cows. *Animal Science Journal*. 2019;90(7):894–902. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.13206>
13. Alahmar A. T. Role of oxidative stress in male infertility: An updated review. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 2019;12(1):4–18. DOI: https://doi.org/10.4103/jhrs.JHRS_150_18
14. Bhardwaj J. K., Panchal H., Saraf P. Ameliorating effects of natural antioxidant compounds on female infertility: a review. *Reproductive Sciences*. 2020;28(5):1227–1256. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43032-020-00312-5>
15. Talukder S., Kerrisk K. L., Gabai G., Celi P. Role of oxidant-antioxidant balance in reproduction of domestic animals. *Animal Production Science*. 2017;57(8):1588–1597. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN15619>
16. Рецкий М. И., Блинецова Г. Н., Нежданов А. Г., Сафонов В. А., Венцова И. Ю. Влияние дисбаланса активных форм кислорода и азота на развитие послеродовых осложнений у коров. Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2011;47(2):102–104.

Retskiy M. I., Bliznetsova G. N., Nezhdanov A. G., Safonov V. A., Ventsova I. Yu. The effect of an imbalance of reactive oxygen species and nitrogen on the development of postpartum complications in cows. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny»*. 2011;47(2):102–104. (In Belarus).

17. Zhao W., Chen X., Xiao J., Chen X. H., Zhang X. F., Wang T., Zhen Y. G., Qin G. X. Prepartum body condition score affects milk yield, lipid metabolism, and oxidation status of Holstein cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019;32(12):1889–1896. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0817>

18. Боголюбова Н. В. Некоторые аспекты антиоксидантной защиты в организме молодняка крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2023;(5):38–41. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-38-41> EDN: YCJQMA

Bogolyubova N. V. Some aspects of antioxidant protection in the body of young cattle. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2023;(5):38–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-38-41>

19. Бахта А. А., Карпенко Л. Ю. Биологическая оценка нарушений антиоксидантного статуса продуктивных животных при различных физиологических состояниях с целью разработки методов профилактики окислительного стресса для повышения продуктивности животных. Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных: мат-лы 3-й Международ. научн.-практ. конф. М.: изд-во Сельскохозяйственные технологии, 2021. С. 179–185.

Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46668843> EDN: MUHSAJ

Bakhta A. A., Karpenko L. Yu. Biological assessment of violations of the antioxidant status of productive animals under various physiological conditions in order to develop methods for the prevention of oxidative stress to increase the productivity of animals. *Molecular and genetic technologies for the analysis of gene expression of productivity and resistance to animal diseases: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference*. Moscow: *izd-vo Sel'skokhozyaystvennye tekhnologii*, 2021. pp. 179–185. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46668843>

20. Farahmandian F., Chalmeh A., Pourjafar M., Amirian A. Linear regression between fecal cortisol metabolites and circulating cortisol levels of peri-partum ewes: Suggesting a non-invasive alternative sampling method. *Small Ruminant Research*. 2023;227:107071. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107071>

21. Greguła-Kania M., Kosior-Korzecka U., Hahaj-Siembida A., Kania K., Szyslak N., Junkuszew A. Age-Related Changes in Acute Phase Reaction, Cortisol, and Haematological Parameters in Ewes in the Periparturient Period. *Animals*. 2021;11(12):3459. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11123459>

22. Ismail M. Z. Changes in thyroid hormones serum profiles during late pregnancy and post lambing in the awassi sheep. *Indian Journal of Public Health Research & Development*. 2023;14(1):391–396.

DOI: <https://doi.org/10.37506/ijphrd.v14i1.18877>

23. Valavi E., Zaeemi M., Mohri M. Age-related changes in thyroid hormones, some serum oxidative biomarkers and trace elements and their relationships in healthy Saanen goat kids during the first three month of age. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2022;106(3):494–505. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13634>

24. Medica P., Cravana C., Ferlazzo A. M., Fazio E. Age-related functional changes of total thyroid hormones and glycosaminoglycans in growing calves. *Veterinary World*. 2020;13(4):681–686.

DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.681-686>

25. Nazifi S., Shahriari A., Nazemian N. Relationships between thyroid hormones, serum trace elements and erythrocyte antioxidant enzymes in goats. *Pakistan Veterinary Journal*. 2010;30(3):135–138.

URL: http://www.pvj.com.pk/pdf-files/30_3/135-138.pdf

26. Varghese S., Lakshmy P. S., Oommen O. V. Changes in lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities by triiodothyronine (T3) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) in rat liver. *Endocrine Research*. 2001;27:409–416.

DOI: <https://doi.org/10.1081/erc-100107865>

27. Das K., Chainy G. B. Modulation of rat liver mitochondrial antioxidant defense system by thyroid hormone. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2001;1537(1):1–13. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0925-4439\(01\)00048-5](https://doi.org/10.1016/s0925-4439(01)00048-5)

Сведения об авторе

✉ **Боголюбова Надежда Владимировна**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», д. 60, пос. Дубровицы, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>, e-mail: bogolubova@vij.ru

Information about the author

✉ **Nadezhda V. Bogolyubova**, DSc in Biological Science, leading researcher, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>, e-mail: bogolubova@vij.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.700-711>



УДК 631.363

Моделирование критической частоты вращения лопастного ротора с отогнутыми лопастями в циркуляционном смесителе кормосмесей

© 2024. Т. М. Ковалева¹, С. М. Ведищев¹, В. Ю. Зайцев^{✉ 2}, В. В. Коновалов²

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,

г. Тамбов, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,

г. Пенза, Российская Федерация

Цель исследований – обоснование критической частоты вращения ротора с отогнутыми лопастями на основе силового анализа и моделирования движения частиц смеси в горизонтальном погрузчике циркуляционного смесителя. Методика исследований предусматривала обоснование наибольшей частоты вращения лопастного ротора-погрузчика на основе силового анализа движущихся частиц сил при их перемещении отогнутыми лопастями погрузчика и соблюдении условия поступления летящих частиц в лоток. Выполненный численный анализ на основе полученных выражений математическим пакетом Mathcad позволил установить критические значения частоты вращения ротора-погрузчика с отогнутыми лопастями на основе условия схода материала с лопасти и условия полета частиц с лопасти в приемный лоток. При радиальных лопастях ограничением является попадание частиц в приемный лоток при критической частоте 43 мин⁻¹, для отгиба лопастей 30° – около 60 мин⁻¹, для отгиба лопастей 45° – около 70 мин⁻¹, для отгиба лопастей 60° – около 80 мин⁻¹. Наименьшие критические значения частоты вращения ротора-погрузчика из условия движения частиц по лопасти соответствуют углу отгиба лопасти 27–60° и определяются коэффициентом трения материала, составляя 83–78 мин⁻¹. С увеличением трения материала критические значения частоты вращения ротора из условия схода материала с лопасти незначительно уменьшаются, а угол отгиба для экстремума частоты вращения – увеличивается. Наибольшая частота вращения ротора-погрузчика радиусом 0,12 м ограничена 78 мин⁻¹ при угле отгиба лопасти порядка 30–60°, определяемом трением материала о лопасть.

Ключевые слова: смеситель кормов, силовой анализ, лопастной погрузчик, отогнутые лопасти, число оборотов, угол подъема, угол отгиба, математическое моделирование

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативного проекта.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ковалева Т. М., Ведищев С. М., Зайцев В. Ю., Коновалов В. В. Моделирование критической частоты вращения лопастного ротора с отогнутыми лопастями в циркуляционном смесителе кормосмесей. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):700–711. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.700-711>

Поступила: 21.02.2024

Принята к публикации: 08.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Modeling the critical rotation speed of a bladed rotor with bent blades in a circulation mixer of feed mixtures

© 2024. Tatyana M. Kovaleva¹, Sergey M. Vedishchev¹, Vladimir Yu. Zaitsev^{✉ 2}, Vladimir V. Konovalov²

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation,

²Penza State Technological University, Penza, Russian Federation

The purpose of the research is to substantiate the critical rotation speed of a rotor with bent blades based on force analysis and modeling the movement of mixture particles in a horizontal loader of a circulation mixer. The research methodology included the substantiation of the highest rotation frequency of the loader blade rotor based on a force analysis of moving particles of forces when they were moved by the bent blades of the loader and compliance with the conditions for the entry of flying particles into the tray. The numerical analysis performed on the basis of the obtained expressions using the Mathcad mathematical package made it possible to establish the critical values of the rotation speed of the rotor-loader with bent blades based on the condition of the material coming off the blade and the condition of the flight of particles from the blade into the receiving tray. With radial blades, the limitation is the entry of particles into the receiving tray at a critical frequency of 43 min⁻¹,

then for a blade bend of 30° – about 60 min^{-1} , for a blade bend of 45° – about 70 min^{-1} , for a blade bend of 60° – about 80 min^{-1} . The lowest critical values of the rotor-loader rotation frequency from the condition of particle movement along the blade correspond to the blade bend angle of $27\text{--}60^\circ$ and are determined by the friction coefficient of the material, amounting to $83\text{--}78 \text{ min}^{-1}$. With an increase in material friction, the critical values of the rotor rotation speed from the condition of material coming off the blade decrease slightly, and the bend angle for the rotation speed extremum increases. The highest rotation speed of the rotor - loader with a radius of 0.12 m is limited to 78 min^{-1} at a blade bending angle of the order of $30\text{--}60^\circ$, determined by the friction of the material on the blade.

Keywords: feed mixer, force analysis, bladed loader, bent blades, rotating speed, lift angle, bend angle, mathematical modeling

Acknowledgments: the research was carried out without financial support in the framework of the initiative topics.

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

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

For citation: Kovaleva T. M., Vedishchev S. M., Zaitsev V. Yu., Konovalov V. V. Modeling the critical rotation speed of a bladed rotor with bent blades in a circulation mixer of feed mixtures. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):700–711. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.700-711>

Received: 21.02.2024

Accepted for publication: 08.07.2024

Published online: 28.08.2024

Для народного хозяйства машиностроение выпускает разнообразные машины, имеющие в своем составе лопастные роторы [1, 2, 3, 4]. Они применяются, в том числе, в составе питателя пневматических сортировальных столов [1], обеспечивающих равномерную подачу зерна на обработку. Не менее важно поддерживать величину поступления сырья в технологические машины, обеспечивающие как измельчение исходного продукта [2, 3], так и получение смеси или композита [4].

Подобные устройства применяются в различных отраслях промышленности, например, в горной – для получения заданного размера частиц горной породы [5], в химической – для доизмельчения сырья [6, 7], в пищевой – для разделения продуктов на фракции [7, 8], сельском хозяйстве, включая сепарацию зерна [1], его измельчение [2] и смешивание [4]. При этом ось вращения подобных роторов может располагаться как горизонтально [8, 9], наклонно [10], так и вертикально [6, 11]. С учетом различий расположения оси вращения рабочих органов и показателя кинематического режима по-разному осуществляется силовой баланс приложенных к рабочему органу или материальным частицам действующих сил. Исходя из наиболее распространенных задач, реализуемых данными роторами, они разгоняют или разбрасывают тела, частицы или материалы [5, 12]. Поэтому наиболее подробно теоретически проработаны и смоделированы процессы лопастных роторов, осуществляющих разгрузку материалов наружу от лопастей. В ускорителях ставится задача разгона частиц материала [5], в измельчителях [7], как правило – ударное взаимодействие. При этом задачи расчета могут ставиться как по теоретическому обоснованию

параметров конструкции [13], так и численного моделирования процессов [14].

В ряде случаев лопастные роторы выполняют иные функции и решают другие задачи, а именно по отводу материала от периферии ротора к центру вращения для обеспечения циркуляции материала во вращающемся барабане [15, 16, 17]. К сожалению, задачи подачи материала к оси вращения лопастей ротора не рассмотрены в достаточном объеме.

Учитывая постоянное совершенствование конструкций используемых машин и усложнение их технологического процесса, возникает задача теоретического обоснования интервала работы новых рабочих органов.

Разработана конструкция циркуляционного смесителя [10], в которой осуществляется перегрузка материала из одного в другой шнеко-ленточный рабочий орган, выполненных соосно, но различного диаметра. В силу размещения внутренней поверхности неподвижных кожухов рабочих органов на разной высоте предусмотрено применение лопастного ротора с отогнутыми лопастями для перегрузки материала смеси внутри циркуляционного смесителя.

Цель исследований – обоснование критической частоты вращения ротора с отогнутыми лопастями на основе силового анализа и моделирования движения частиц смеси в горизонтальном погрузчике циркуляционного смесителя.

Научная новизна – теоретическое обоснование критической частоты вращения ротора смесителя с отогнутыми лопастями и разработка методики определения конкретного кинематического режима для заданной конструкции погрузчика циркуляционного смесителя численными методами.

Материал и методы. Методика исследований предусматривала обоснование наибольшей частоты вращения лопастного ротора погрузчика на основе силового анализа¹ движущихся частиц при их перемещении отогнутыми лопастями погрузчика и соблюдении условия поступления летящих частиц в лоток. Полученные выражения являлись основой математического моделирования значений показателей и обоснования рациональных величин частоты вращения ротора.

Для реализации цели сформулированы задачи: 1) на основе силового анализа получить выражения, описывающие действующие ускорения на частицу, условия схода частиц с лопасти, полета частиц в лоток; 2) численный анализ значений показателей на основе моделирования процесса математическим пакетом Mathcad; 3) обоснование критических значений частоты вращения рабочего органа.

Результаты и их обсуждение. Для обеспечения баланса производительностей подающего и отводящего шнеков и установленного между ними подъемника с отогнутыми лопастями, производится теоретическое рассмотрение работы подъёмника с отогнутыми лопастями

и обоснование критических значений его частоты вращения. Следует учитывать ряд условий: возможность движения материала по лопасти к центру вращения и наличие возможности полета частиц с лопасти в приемный лоток.

Изначально материал перемещается ленточным рабочим органом (на рис. 1 не показан) шнекового типа вдоль наружного кожуха 5. При поступлении материала смеси в полость между радиальными лопастями 1 и ограниченную снаружи кожухом 5, а изнутри – сетчатой поверхностью вала 3 ленточного рабочего органа (соответствует внутреннему радиусу краев лопастей 1) корм отогнутыми на угол γ лопастями 1 погрузчика поднимается, а затем ссыпается по поднятым лопастям через отверстия сетчатой поверхности вала 3 на неподвижный лоток 4. При вращении винта отгрузочного шнека 2 материал из лотка 4 сталкивается внутрь вращающегося кожуха 3 отгрузочного шнека 2, одновременно являющегося валом ленточного рабочего органа. Форма и размеры отверстий сетчатой поверхности вала 3 рабочего органа выбираются таким образом, чтобы они не препятствовали сходу материала с лопасти и свободному его проходу в лоток.

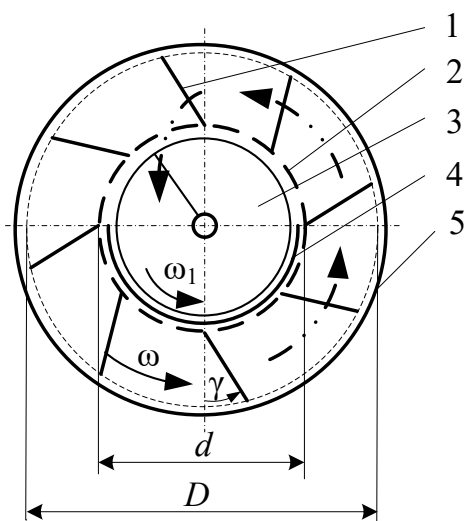


Рис. 1. Схема поперечного сечения горизонтального ротора-погрузчика с отогнутыми лопастями: 1 – лопасти погрузчика; 2 – вал ленточного рабочего органа (он же кожух отгрузочного шнека, в зоне лопастей имеющий сквозные продольные прорезы между лопастями, а в промежутках прорезей к данному валу крепятся лопасти); 3 – отгрузочный шнек; 4 – приемный лоток; 5 – наружный кожух лопастного ротора /

Fig. 1. Diagram of the cross section of a horizontal rotor – a loader with bent blades: 1 – loader blades; 2 – shaft of the belt working body (also known as the casing of the loading auger, in the area of the blades it has through longitudinal slots between the blades, and in the spaces between the slots the blades are attached to this shaft); 3 – shipping auger; 4 – receiving tray; 5 – outer casing of the bladed rotor

С целью изучения влияния угла отгиба лопасти от радиального положения на некоторый угол γ (рис. 1) на предельный (критический) угол подъема частицы в полости наружного кожуха транспортера проведем анализ предельного положения равновесия частицы на лопасти. Изобразим частицу, лежащую на лопасти погрузчика в произвольном положении (рис. 2),

и действующие на нее силы: силу тяжести $F_g = m \cdot g$, где m – масса частицы, g – ускорение свободного падения; нормальную реакцию лопасти F_n ; силу трения $F_f = f \cdot F_n$, где f – коэффициент трения между материалом и лопастью; центробежную силу инерции $F_i = m \cdot \omega^2 \cdot R$, где ω – угловая скорость вала ленточного рабочего органа, R – расстояние частицы от оси вращения вала ленточного рабочего органа.

¹Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. (Изд. 20-е, стер.) М.: Высшая школа, 2010. С. 198, 345.

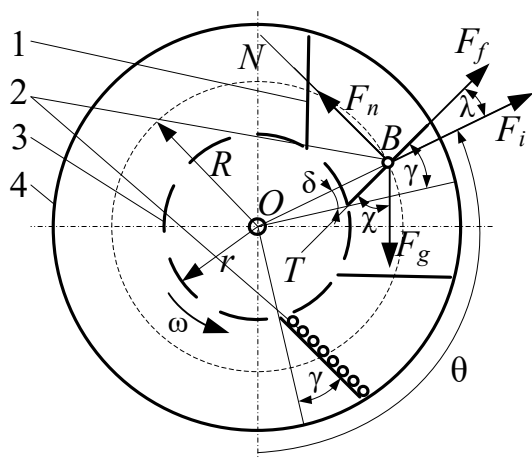


Рис. 2. Расчетная схема горизонтального лопастного ротора-погрузчика с отогнутыми лопастями: 1 – лопасти погрузчика; 2 – частица материала; 3 – вал ленточного рабочего органа (кожух отгрузочного шнека); 4 – наружный кожух лопастного ротора /

Fig. 2. Design diagram of a horizontal bladed rotor-loader with bent blades: 1 – loader blades; 2 – particle of material; 3 – shaft of the belt working body (casing of the shipping auger); 4 – outer casing of the bladed rotor

Проведем оси подвижной системы координат BTN и составим уравнения кинестатики:

$$\Sigma T_i = 0, F_g \cdot \cos(\chi) - F_f - F_i \cdot \cos(\lambda) = 0, \quad (1)$$

$$\Sigma N_i = 0, F_n - F_g \cdot \sin(\chi) - F_i \cdot \sin(\lambda) = 0, \quad (2)$$

где $\chi = 180 - \theta - \lambda$ – угол между линией действия силы тяжести и плоскостью лопасти.

Тогда уравнения (1) и (2) примут вид:

$$-F_g \cdot \cos(\theta + \lambda) - F_f - F_i \cdot \cos(\lambda) = 0, \quad (3)$$

$$F_n - F_g \cdot \sin(\theta + \lambda) - F_i \cdot \sin(\lambda) = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (4)

$$F_n = F_g \cdot \sin(\theta + \lambda) + F_i \cdot \sin(\lambda). \quad (5)$$

Таким образом, уравнение (3) с учетом (5) и выражений F_i , F_g и F_f примет вид:

$$\begin{aligned} & -m \cdot g \cdot (\cos(\theta + \lambda) + f \cdot \sin(\theta + \lambda)) - \\ & - m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot (f \cdot \sin(\lambda) + \cos(\lambda)) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Угол λ найдем, рассмотрев треугольники ABC , OBC и OAB (рис. 3). Из треугольника OAB по теореме косинусов находим

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 - 2 \cdot OA \cdot AB \cdot \cos \zeta$$

$$\text{или } R^2 = r^2 + AB^2 - 2 \cdot r \cdot AB \cdot \cos \zeta,$$

$$\text{откуда } AB = r \cdot \cos \zeta + \sqrt{r^2 \cdot \cos^2 \zeta + R^2 - r^2},$$

где $\zeta = 180 - \gamma$.

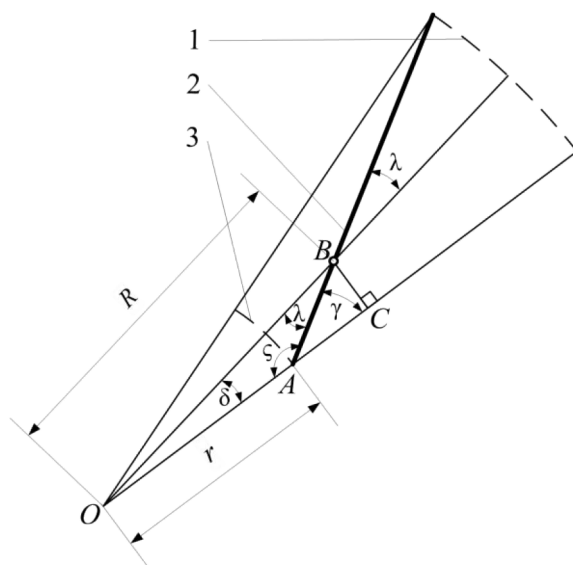


Рис. 3. Сектор лопастного ротора-погрузчика с отогнутыми лопастями: 1 – наружный кожух лопастного ротора; 2 – лопасть погрузчика; 3 – вал ленточного рабочего органа (кожух отгрузочного шнека) /

Fig. 3. Sector of the bladed rotor-loader with bent blades: 1 – outer casing of the bladed rotor; 2 – loader blade; 3 – shaft of the belt working body (casing of the shipping auger)

Из треугольника ABC находим

$$BC = AB \cdot \sin \gamma.$$

Из треугольника OBC получаем

$$\sin \delta = \frac{BC}{OB} = \frac{BC}{R}.$$

$$\text{Откуда } \delta = \arcsin\left(\frac{BC}{R}\right).$$

Из треугольника OAB находим искомый угол $\lambda = \gamma - \delta$.

Для схода материала по лопасти требуется превышение сил тяжести над центробежными силами. Из уравнения (6) получим выражение предельного угла подъема частицы материала в зависимости от положения частицы на лопасти (текущая координата R), угловой

скорости вала рабочего органа ω , угла отгиба лопасти γ и коэффициента трения между частицей материала и лопастью, при превышении которого частицы материала начинают движение по лопасти вниз:

$$\theta = -2 \arctg \left[\frac{2fg + \sqrt{4R^2\omega^4 \sin^2 \lambda - 4R^2\omega^4 f \sin 2\lambda - 4R^2\omega^4 f^2 \sin^2 \lambda}}{2R\omega^2 \cos \lambda - 2g + 2R\omega^2 f \sin \lambda} + \frac{\sqrt{-4R^2\omega^4 + 4f^2 g^2 + 4g^2}}{2R\omega^2 \cos \lambda - 2g + 2R\omega^2 f \sin \lambda} \right] - \lambda. \quad (7)$$

Значения критического угла подъема частицы материала в зависимости от частоты вращения вала рабочего органа и угла отгиба лопасти для коэффициента трения $f = 0,5$ по результатам математического моделирования приведены на рисунке 4. Увеличение угла отгиба лопасти вначале способствует большему

поднятию материала, а затем при превышении оптимального значения угла отгиба угол подъема материала уменьшается. Увеличение радиуса и коэффициента трения также положительно влияют на угол поднятия частицы на лопасти из-за роста центробежных сил, прижимающих материал к лопасти.

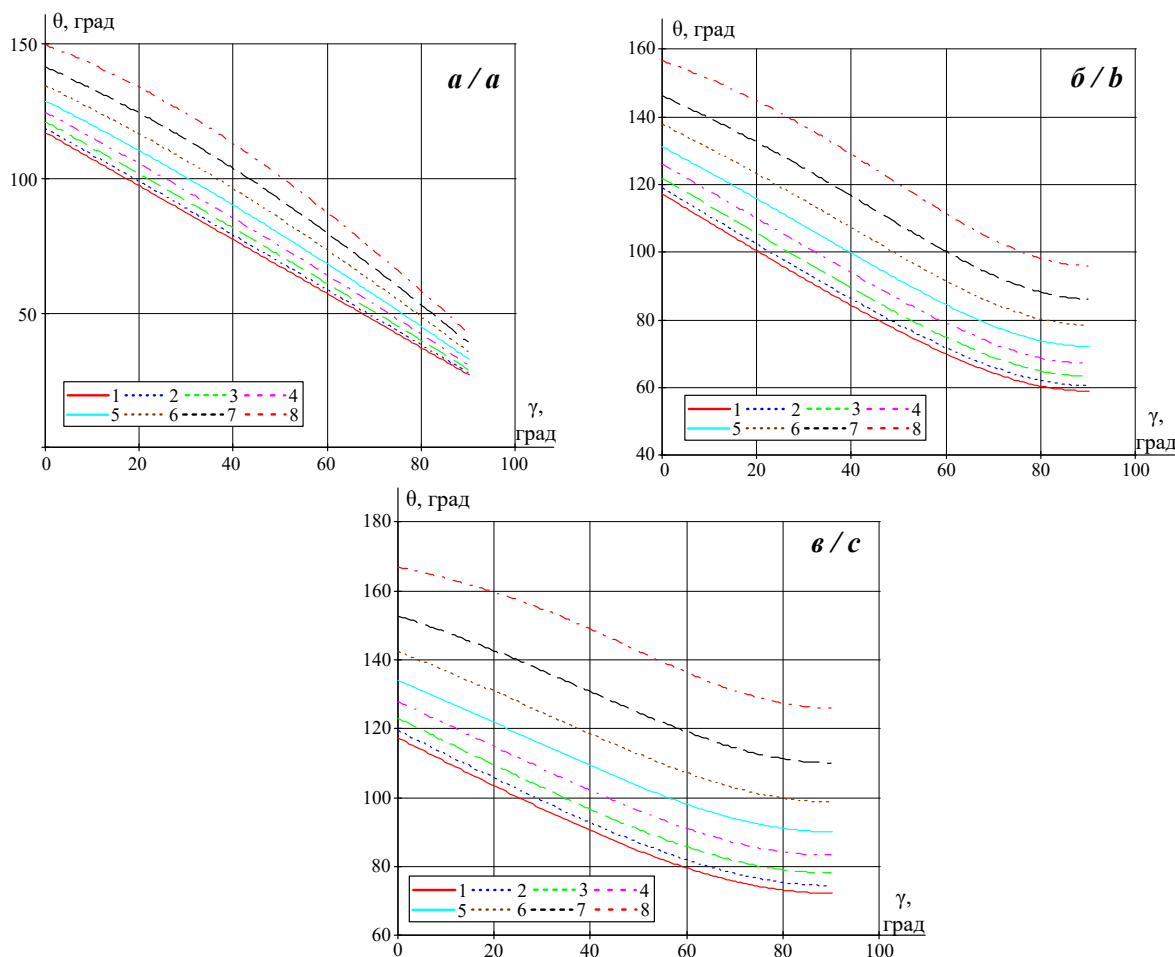


Рис. 4. Значения критического угла подъема частицы материала: a – частица на лопасти удалена от центра вращения вала на 85 мм; b – частица на лопасти удалена от центра вращения на 100 мм; c – частица на лопасти удалена от центра вращения на 120 мм; значения частот вращения вала: 1 – $n = 10 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $n = 20 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $n = 30 \text{ мин}^{-1}$; 4 – $n = 40 \text{ мин}^{-1}$; 5 – $n = 50 \text{ мин}^{-1}$; 6 – $n = 60 \text{ мин}^{-1}$; 7 – $n = 70 \text{ мин}^{-1}$; 8 – $n = 80 \text{ мин}^{-1}$ /

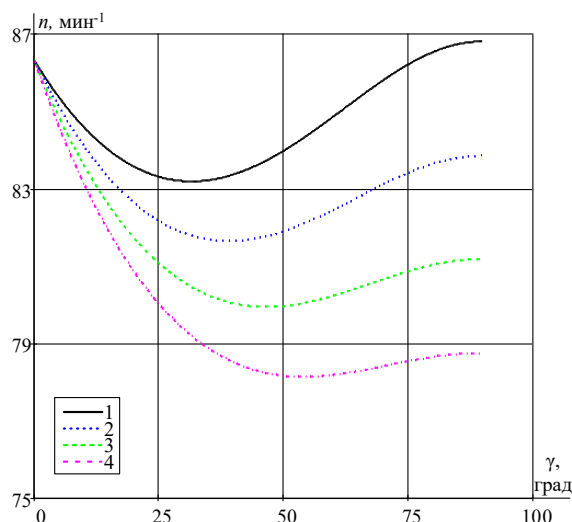
Fig. 4. Values of the critical angle of elevation of a material particle: a – the particle on the blade is 85 mm away from the center of rotation; b – the particle on the blade is 100 mm away from the center of rotation; c – the particle on the blade is 120 mm away from the center of rotation; rotation speed: 1 – $n = 10 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $n = 20 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $n = 30 \text{ мин}^{-1}$; 4 – $n = 40 \text{ мин}^{-1}$; 5 – $n = 50 \text{ мин}^{-1}$; 6 – $n = 60 \text{ мин}^{-1}$; 7 – $n = 70 \text{ мин}^{-1}$; 8 – $n = 80 \text{ мин}^{-1}$

Из уравнения (6) определим значения частот вращения вала ротора-погрузчика, при которых сход материала с лопасти невозможен

Откуда

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R \cdot (f \cdot \sin(\lambda) + \cos(\lambda))}}$$

Значения частот вращения вала ротора-погрузчика, при которых сход материала с лопасти невозможен, для крайнего верхнего



С целью повышения эффективности работы горизонтального лопастного ротора-погрузчика с отогнутыми лопастями следует в случае схода материала в вертикальном положении лопасти добиться падения частиц в зону

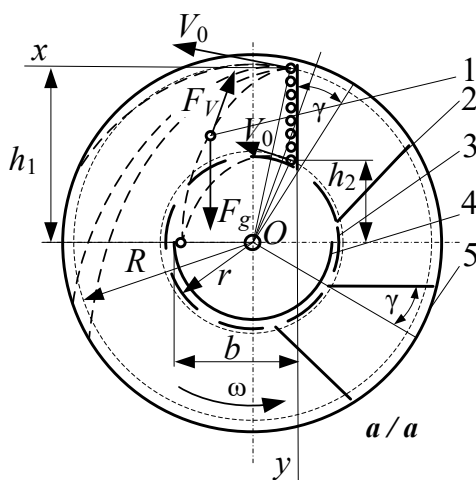


Рис. 6. Сход материала при вертикальном положении лопасти: а – поперечное сечение горизонтального лопастного погрузчика; б – сектор лопасти в вертикальном положении; 1 – частица материала на траектории падения; 2 – отогнутая лопасть погрузчика; 3 – вал шнекового рабочего органа; 4 – приемный лоток; 5 – наружный кожух лопастного ротора /

Fig. 6. Material flow when the blade is in a vertical position: а – cross-section of a horizontal blade loader; б – sector of the blade in a vertical position; 1 – particle of material on the falling trajectory; 2 – bent loader blade; 3 – shaft of the screw working body; 4 – receiving tray; 5 – outer casing of the blade rotor

при положении лопасти в верхнем вертикальном положении (угол $\theta + \lambda = 180^\circ$):

$$m \cdot g - m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot (f \cdot \sin(\lambda) + \cos(\lambda)) = 0.$$

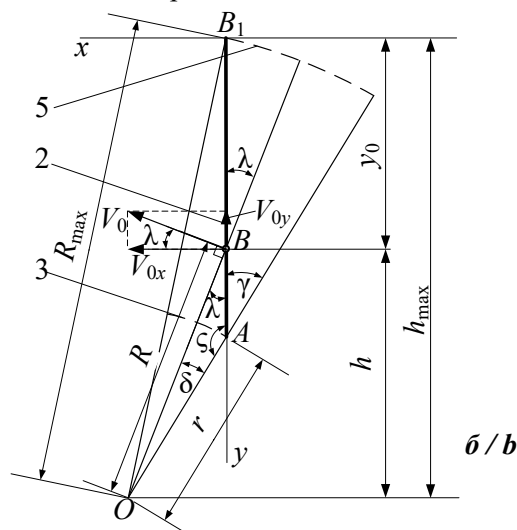
$$\text{или } n = \sqrt{\frac{900 \cdot g}{\pi^2 \cdot R \cdot (f \cdot \sin(\lambda) + \cos(\lambda))}}.$$

положения частицы на лопасти ($R = 0,12$ м) в зависимости от угла отгиба лопасти γ приведены на рисунке 5.

Рис. 5. Значения частот вращения вала, при которых сход материала с лопасти невозможен, для крайнего верхнего положения частицы на лопасти ($R = 0,12$ м) в зависимости от угла отгиба лопасти γ : 1 – коэффициент трения $f = 0,4$; 2 – коэффициент трения $f = 0,5$; 3 – коэффициент трения $f = 0,6$; 4 – коэффициент трения $f = 0,7$ /

Fig. 5. Values of shaft rotation frequencies at which the material can not flow off the blade, for the uppermost position of the particle on the blade ($R = 0.12$ m) depending on the blade bend angle γ : 1 – friction coefficient $f = 0.4$; 2 – friction coefficient $f = 0.5$; 3 – friction coefficient $f = 0.6$; 4 – friction coefficient $f = 0.7$

приемного лотка (зона ограничена шириной b на рис. 6). Рассмотрим два критических варианта: 1) частица на лопасти находится в крайнем верхнем положении; 2) частица на лопасти находится в крайнем нижнем положении.



Для описания движения частицы материала в полости барабана исследуем промежуточный вариант. В данном случае материал отделяется от лопасти в некотором среднем положении, ограниченным, с одной стороны, радиусом $r = 85$ мм, с другой – радиусом $R = 120$ мм со скоростью V_0 , направленной по касательной к окружности произвольного

радиуса, лежащего в диапазоне от r до R (рис. 6, б). Проведем координатные оси x, y , изобразим частицу и действующие на нее силы в произвольном положении (рис. 6): сила тяжести $F_g = m \cdot g$ и сила сопротивления воздуха $F_v = \mu \cdot V$, где μ – коэффициент сопротивления. Составим дифференциальные уравнения движения частицы в проекциях на оси x, y :

$$\begin{cases} m \frac{dV_x}{dt} = -F_{Vx}, \\ m \frac{dV_y}{dt} = F_g - F_{Vy}, \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} m \frac{dV_x}{dt} = -\mu \cdot V_x, \\ m \frac{dV_y}{dt} = F_g - \mu \cdot V_y, \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = -\frac{\mu}{m} \cdot V_x, \\ \frac{dV_y}{dt} = g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y. \end{cases}$$

Разделим переменные и вычислим интегралы:

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{V_x} = -\frac{\mu}{m} \cdot dt, \\ \frac{dV_y}{g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y} = dt. \end{cases} \quad \begin{cases} \int \frac{dV_x}{V_x} = -\frac{\mu}{m} \cdot \int dt, \\ \int \frac{dV_y}{\left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y\right)} = \int dt. \end{cases}$$

Получим:

$$\begin{cases} \ln V_x = -\frac{\mu}{m} \cdot t + C_1, \\ -\frac{m}{\mu} \cdot \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y \right) = t + C_2, \end{cases} \quad \begin{cases} \ln V_x = -\frac{\mu}{m} \cdot t + C_1, \\ -\frac{m}{\mu} \cdot \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y \right) = t + C_2. \end{cases} \quad (8)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим, подставив начальные условия ($t_0 = 0$, $V_{0x} = V_0 \cos \lambda$, $V_{0y} = -V_0 \sin \lambda$) в уравнение (9). В свою очередь отметим, что начальная

скорость частицы определяется выражением $V_0 = \omega \cdot R = \pi \cdot n \cdot R / 30$, где $n = \text{const}$ – частота вращения вала рабочего органа. Таким образом, V_0 является величиной, не зависящей от времени.

$$\begin{cases} \ln V_{0x} = C_1, \\ -\frac{m}{\mu} \cdot \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) = C_2. \end{cases} \quad \text{Откуда} \quad \begin{cases} C_1 = \ln V_{0x}, \\ C_2 = -\frac{m}{\mu} \cdot \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right). \end{cases}$$

С учетом постоянных интегрирования система уравнений (9) примет вид:

$$\begin{cases} \ln V_x = -\frac{\mu}{m} \cdot t + \ln V_{0x}, \\ \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y \right) = -\frac{\mu}{m} \cdot t + \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right), \end{cases} \quad \begin{cases} \ln V_x - \ln V_{0x} = -\frac{\mu}{m} \cdot t, \\ \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y \right) - \ln \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) = -\frac{\mu}{m} \cdot t, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ln \frac{V_x}{V_{0x}} = -\frac{\mu}{m} \cdot t, \\ \ln \left(\frac{g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y}{g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y}} \right) = -\frac{\mu}{m} \cdot t. \end{cases}$$

Откуда:

$$\begin{cases} \frac{V_x}{V_{0x}} = e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \\ \frac{g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y}{g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y}} = e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \end{cases} \quad \begin{cases} V_x = V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \\ g - \frac{\mu}{m} \cdot V_y = \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \end{cases} \quad \begin{cases} V_x = V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \\ -\frac{\mu}{m} \cdot V_y = -g + \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}. \end{cases}$$

Окончательно имеем:

$$\begin{cases} V_x = \frac{dx}{dt} = V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \\ V_y = \frac{dy}{dt} = \frac{m}{\mu} \cdot g - \frac{m}{\mu} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}. \end{cases} \quad (9)$$

Разделим переменные в системе уравнений (9) и проинтегрируем уравнения по времени:

$$\begin{cases} dx = V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} \cdot dt, \\ dy = \frac{m}{\mu} \cdot g \cdot dt - \frac{m}{\mu} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} \cdot dt. \end{cases} \quad \begin{cases} \int dx = V_{0x} \cdot \int e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} dt, \\ \int dy = \frac{m \cdot g}{\mu} \cdot \int dt - \frac{m}{\mu} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) \int e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} dt. \end{cases}$$

Откуда имеем:

$$\begin{cases} x = -\frac{m}{\mu} \cdot V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} + C_3, \\ y = \frac{m \cdot g}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} + C_4. \end{cases} \quad (10)$$

Постоянные интегрирования C_3 и C_4 определим, подставив начальные условия ($t_0 = 0$, $x_0 = 0$, $y_0 = h_{\max} - R \cdot \cos \lambda$, где $h_{\max} = AB_1 + r \cdot \cos \gamma$,

$AB_1 = r \cdot \cos \zeta + \sqrt{r^2 \cdot \cos^2 \zeta + R_{\max}^2 - r^2}$, $\zeta = 180 - \gamma$, $R_{\max} = 0,12$ м) в уравнение (10):

$$\begin{cases} x_0 = -\frac{m}{\mu} \cdot V_{0x} + C_3, \\ y_0 = \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) + C_4, \end{cases} \quad \begin{cases} C_3 = x_0 + \frac{m}{\mu} \cdot V_{0x}, \\ C_4 = y_0 - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right). \end{cases}$$

С учетом постоянных интегрирования система уравнений (10) примет вид:

$$\begin{cases} x = -\frac{m}{\mu} \cdot V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} + \frac{m}{\mu} \cdot V_{0x} + x_0, \\ y = \frac{m \cdot g}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) + y_0. \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, получим систему уравнений, описывающую движение частицы мате-

риала в полости барабана при сходе частицы с вертикально расположенной лопасти:

$$\begin{cases} V_x = V_{0x} \cdot e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \\ V_y = \frac{m \cdot g}{\mu} - \frac{m}{\mu} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}, \\ x = \frac{m}{\mu} \cdot V_{0x} \cdot (1 - e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t}) + x_0, \\ y = \frac{m \cdot g}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g - \frac{\mu}{m} \cdot V_{0y} \right) \cdot (e^{-\frac{\mu}{m} \cdot t} - 1) + y_0. \end{cases} \quad (12)$$

Найдем величину угловой скорости ω (частоты вращения n) вала рабочего органа, обеспечивающую попадание частиц материала в зону приемного лотка. Для этого из третьего

уравнения системы (12) выразим параметр времени t , принимая во внимание, что $x_0 = 0$, $V_{0x} = V_0 \cos \lambda$:

$$t = -\frac{m}{\mu} \cdot \ln \left(1 - \frac{\mu \cdot (x - x_0)}{V_{0x} \cdot m} \right) = -\frac{m}{\mu} \cdot \ln \left(1 - \frac{\mu}{m V_0 \cdot \cos \lambda} x \right). \quad (13)$$

Подставим (13) в четвертое уравнение системы (12) и, учитывая, что $V_{0y} = -V_0 \sin \lambda$, получим:

$$y = \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g + \frac{\mu}{m} \cdot V_0 \cdot \sin \lambda \right) \cdot \left(e^{\ln \left(1 - \frac{\mu}{m V_0 \cdot \cos \lambda} x \right)} - 1 \right) - \frac{m^2 \cdot g}{\mu^2} \cdot \ln \left(1 - \frac{\mu}{m V_0 \cdot \cos \lambda} x \right) + y_0. \quad (14)$$

Выразим координаты x и y через размеры приемного лотка и текущего положения частицы на лопасти в момент ее отрыва:

$$\begin{cases} x = b = r + r \cdot \sin \gamma, \\ y = h = R \cdot \cos \lambda. \end{cases} \quad (15)$$

Подставив в (14) уравнение (15), выражение, определяющее начальную координату частицы по оси y ($y_0 = h_{\max} - R \cdot \cos \lambda$), и выражение начальной скорости частицы $V_0 = \omega \cdot R = \pi \cdot n \cdot R / 30$ (n – частота вращения вала рабочего органа) получим:

$$R \cdot \cos \lambda = \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \left(g + \frac{\mu}{m} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R \cdot \sin \lambda \right) \cdot \left(e^{\ln \left(1 - \frac{\mu}{m \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R \cdot \cos \lambda} \cdot \frac{r + r \cdot \sin \gamma}{R \cdot \cos \lambda} \right)} - 1 \right) - \frac{m^2 \cdot g}{\mu^2} \cdot \ln \left(1 - \frac{\mu}{m \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R \cdot \cos \lambda} \cdot \frac{r + r \cdot \sin \gamma}{R \cdot \cos \lambda} \right) + h_{\max} - R \cdot \cos \lambda. \quad (16)$$

Уравнение (16) позволяет определить предельные значения частоты вращения барабана, при которых частицы, находящиеся на вертикально расположенной лопасти, попадают в зону приемного лотка. Зависимость критической частоты вращения барабана от

угла отгиба лопасти γ для крайнего верхнего положения частицы на лопасти ($R = 0,12$ м) приведена на рисунке 7. Зависимость размера зоны приема частицы от угла отгиба лопасти γ приведена на рисунке 8.

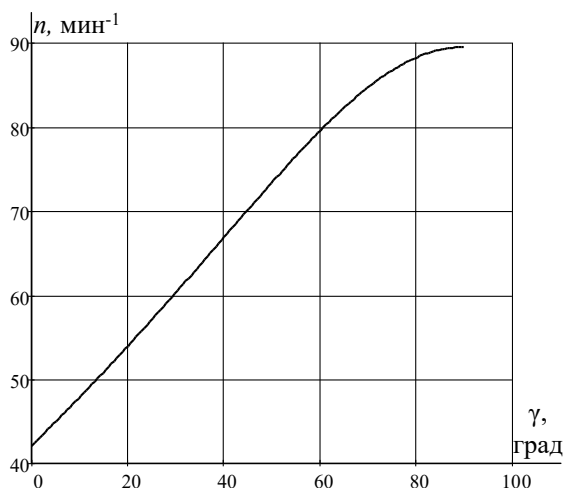


Рис. 7. Зависимость критической частоты вращения вала ротора-погрузчика от угла отгиба лопасти γ /

Fig. 7. Dependence of the critical rotation speed of the rotor shaft - loader on the blade bend angle γ

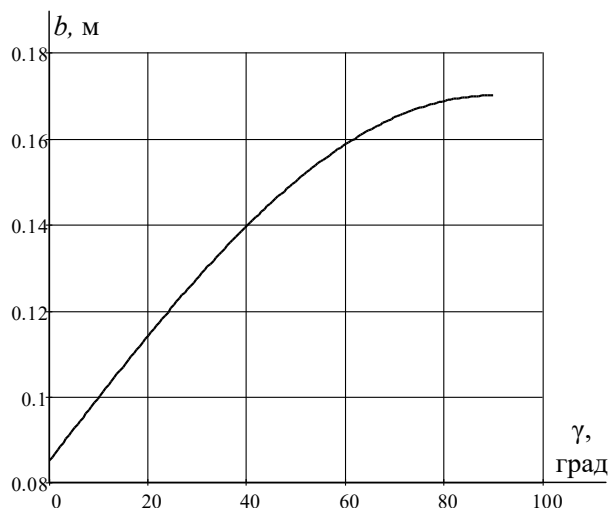


Рис. 8. Зависимость размера зоны приема частицы от угла отгиба лопасти γ /

Fig. 8. Dependence of the size of the particle reception zone on the blade bend angle γ

Выводы. Осуществленный силовой анализ выявил выражения, позволяющие проводить математическое моделирование и анализ работы элементов устройства. Выполненный численный анализ математическим пакетом Mathcad позволил установить критические (максимальные) значения частоты вращения ротора-погрузчика с отогнутыми лопастями на основе условия схода материала с лопасти и условия полета частиц с лопасти в приемный лоток. При этом частота ротора-погрузчика соответствует частоте шнеко-ленточного конвейера и определяется его потребной производительностью.

Исходя из условия попадания сходящих с лопасти частиц в приемный лоток, рост отгиба лопасти позволяет увеличивать допустимую частоту вращения ротора-погрузчика почти с линейной зависимостью, что сказывается на увеличении размеров зоны попадания частиц в приемный лоток.

Если при радиальных лопастях ограничением является попадание частиц в приемный лоток при критической частоте 43 мин^{-1} , то для

отгиба лопастей 30° – около 60 мин^{-1} , для отгиба лопастей 45° – около 70 мин^{-1} , для отгиба лопастей 60° – около 80 мин^{-1} . Дальнейший рост угла отгиба лопастей ограничивается условием схода материала с лопасти и определяется коэффициентом трения материала о лопасть.

Увеличение радиуса расположения частиц и частоты вращения ротора способствуют росту угла подъема частиц по наружному кожуху из-за усиления влияния центробежных сил. Наименьшие критические значения частоты вращения ротора-погрузчика из условия движения частиц по лопасти соответствуют углу отгиба лопасти $27\text{--}60^\circ$ и определяются коэффициентом трения материала – $83\text{--}78 \text{ мин}^{-1}$. С увеличением трения материала критические значения частоты вращения ротора из условия схода материала с лопасти незначительно уменьшаются, а угол отгиба для экстремума частоты вращения – увеличивается. Таким образом, наибольшая частота вращения ротора-погрузчика ограничена 78 мин^{-1} при угле отгиба лопасти порядка $30\text{--}60^\circ$, определяемом трением материала о лопасть.

Список литературы

1. Мачнев А. В., Мачнев В. А., Мачнева О. Ю., Быков А. В., Шилина В. Д., Черняев Д. О. Теоретическое обоснование трехлопастного ротационного питателя. Нива Поволжья. 2022;(2(62)):3002. DOI: <https://doi.org/10.36461/NP.2022.62.2.005> EDN: RMJIZI
2. Сысуев В. А., Савиных П. А., Казаков В. А., Сычугов Ю. В. Исследования и сравнительные испытания плющилки зерна с питающим устройством. Инженерные технологии и системы. 2022;32(2):207–221. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.207-221> EDN: JVBQQW
3. Авроров В. А., Мурашкина О. А., Сарафанкина Е. А. Определение величины прогиба оси ротора диспергатора численными методами. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022;11(2(58)):55–58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48699701> EDN: XDOAQV
4. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):732–739. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739> EDN: POGVXS
5. Козин А. Ю., Фомин С. Н., Кутлубаев И. М., Хозей А. Б. Моделирование движения минерального сырья в ускорителе центробежного типа. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2015;(4):57–59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23543482> EDN: TVFGJJ

6. Вайтехович П. Е. Определение условий самофутеровки лопастей ударно-центробежных мельниц. Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2018;(2(211)):35–39.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36265359> EDN: YKWTVZ
7. Липанов А. М., Жиров Д. К. Математическое моделирование динамики движения частиц в установках по измельчению центробежно-ударного типа. Часть 1. Математическая модель. Химическая физика и мезоскопия. 2014;16(1):82–87. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21362685> EDN: RZMMBH
8. Николаев В. Н., Ахметвалиев М. С., Литаш А. В. Установка для разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции. Актуальные вопросы аграрной науки. 2018;(28):14–22.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35780442> EDN: YCKBET
9. Жуков В. Г., Андреев Н. Р., Лукин Н. Д., Костенко В. Г. Совершенствование фильтрующих центрифуг для выделения крахмала из крахмалосодержащих суспензий. Достижения науки и техники АПК. 2014;(12):60–62.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22776137> EDN: TEKRCR
10. Ведищев С. М., Прохоров А. В., Хольшев Н. В., Выгузов М. Е., Ложкина Е. Б., Ноздрин А. О., Конев А. Ю., Ковалева Т. М., Неверова С. Ю. Смеситель сыпучих кормов: пат. №2804750 Российская Федерация. №2022129557: заяв. 15.11.2022; опубл. 04.10.2023. Бюл. №28. 14 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
11. Лачуга Ю. Ф., Ибятков Р. И., Зиганшин Б. Г., Шогенов Ю. Х., Дмитриев А. В. Моделирование траектории движения зерна по рабочим органам пневмомеханического шелушителя. Российская сельскохозяйственная наука. 2020;(4):73–76. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262720040171> EDN: XBWRVE
12. Жиров Д. К., Королева М. Р. Математическое исследование движения сыпучих материалов в ударно-отражательном измельчителе. Химическая физика и мезоскопия. 2016;18(3):361–369.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27165641> EDN: WWMCP
13. Лежава А. Г., Барсуков В. Г. Метод расчетной верхней оценки диапазона скоростей движения дисперсных частиц в центробежных ускорителях. Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2021;11(1):97–107. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45538893> EDN: UTOXZQ
14. Каримов Р. Ф., Кузьмин В. А. Численное моделирование гидродинамики потока лабораторного турбодетандера. Вестник молодого ученого УГНТУ. 2022;(2(18)):76–80.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49914544> EDN: SAWNSI
15. Зайцев В. Ю., Фудин К. П., Коновалов В. В., Донцова М. В., Петрова С. С. Моделирование движения частицы по лопастям горизонтального ротора. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(3):21–32. DOI: https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_3_21 EDN: UWWUHP
16. Фудин К. П., Терюшков В. П., Чупшев А. В., Коновалов В. В. Влияние угла установки барабана смесителя на качество смеси. Наука в центральной России. 2020;(3(45)):12–19.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43079690> EDN: PBNASY
17. Коновалов В. В., Зайцев В. Ю., Дмитриев Н. В., Чупшев А. В., Терюшков В. П. Аналитическое определение параметров движения материала по наклонным лопастям барабанного смесителя. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016;(5(33)):34–42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29100814> EDN: YMVDKT

References

1. Machnev A. V., Machnev V. A., Machneva O. Yu., Bykov A. V., Shi-lina V. D., Chernyaev D. O. Theoretical substantiation of three-blade rotary feeder. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*. 2022;(2(62)):3002. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36461/NP.2022.62.2.005>
2. Sysuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A., Sychugov Yu. V. Research and comparative testing of a grain flat-tener with a feeding device. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):207–221. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.207-221>
3. Avrorov V. A., Murashkina O. A., Sarafankina E. A. Determination of the deflection value of the rotor axis of a high-speed dispersant by numerical methods. *XXI vek: Itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*. 2022;11(2(58)):55–58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48699701>
4. Savinykh P. A., Turubanov N. V. The influence of changes in the technological parameters of the feed mixer on its performance. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(5):732–739. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>
5. Kozin A. Yu., Fomin S. N., Kutlubaev I. M., Khozey A. B. The motion simulation of a mineral raw in the accelerator of a centrifugal type. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova = The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2015;(4):57–59. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23543482>
6. Vaytekhovich P. E. The determination of the conditions of self-lining of the blades of the centrifugal mills. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya*. 2018;(2(211)):35–39. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36265359>
7. Lipanov A. M., Zhiron D. K. Modeling particles dynamic motion on centrifugal shock mill blades. Part 1. Mathematical model. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2014;16(1):82–87. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21362685>
8. Nikolaev V. N., Akhmetvaliev M. S., Litash A. V. A device for separation of brewer's draff in a liquid and thick fraction. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki*. 2018;(28):14–22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35780442>

9. Zhukov V. G., Andreev N. R., Lukin N. D., Kostenko V. G. Improving filtering centrifuges to extract starch grains from starch containing slurries. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2014;(12):60–62. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22776137>
10. Vedishchev S. M., Prokhorov A. V., Khol'shev N. V., Vyguzov M. E., Lozhkina E. B., Nozdrina A. O., Konev A. Yu., Kovaleva T. M., Neverova S. Yu. Bulk Feed Mixer: Patent RF, no. 2804750. 2023. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
11. Lachuga Yu. F., Ibyatov R. I., Ziganshin B. G., Shogenov Yu. Kh., Dmitriev A. V. Modeling of grain motion trajectory by working elements of pneumomechanical peeling machine. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(4):73–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262720040171>
12. Zhirov D. K., Koroleva M. R. Mathematical investigation of granular material movement at the impact mill. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2016;18(3):361–369. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27165641>
13. Lezhava A. G., Barsukov V. G. Method for calculating the upper velocity range of dispersed particles in centrifugal accelerators. *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 6. Tekhnika* = Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science. 2021;11(1):97–107. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45538893>
14. Karimov R. F., Kuzmin V. A. Numerical simulation of flow dynamics laboratory turbo expander. *Vestnik molodogo uchenogo UGNTU*. 2022;(2(18)):76–80. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49914544>
15. Zaytsev V. Yu., Fudin K. P., Kononov V. V., Dontsova M. V., Petrova S. S. Simulation of particle motion along the blades of a horizontal rotor. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022;(3):21–32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_3_21
16. Fudin K. P., Teryushkov V. P., Chupshev A. V., Kononov V. V. Equipment for laboratory research of working organs of garden sprayers. *Nauka v tsentral'noy Rossii* = Science in Central Russia. 2020;(3(45)):12–19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43079690>
17. Kononov V. V., Zaytsev V. Yu., Dmitriev N. V., Chupshev A. V., Teryushkov V. P. Analytical parameters determination on motion of material inclined blades drum mixers. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* = XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. 2016;(5(33)):34–42. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29100814>

Сведения об авторах

Ковалева Татьяна Михайловна, аспирант, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ул. Советская, д.106/5, помещение 2, г. Тамбов, Российская Федерация, 392000, e-mail: tstu@admin.tstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0017-3786>

Ведищев Сергей Михайлович, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Агроинженерия», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ул. Советская, д.106/5, помещение 2, г. Тамбов, Российская Федерация, 392000, e-mail: tstu@admin.tstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3759-9809>

Зайцев Владимир Юрьевич, кандидат техн. наук, доцент, кафедра «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», ул. Байдукова проезд/Гагарина ул, д. 1а/11, г. Пенза, Пензенская область, Российская Федерация, 440039, e-mail: rector@penzgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6230-0856>, e-mail: vluzai@gmail.com

Кононов Владимир Викторович, доктор техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», ул. Байдукова проезд/Гагарина ул, д. 1а/11, г. Пенза, Пензенская область, Российская Федерация, 440039, e-mail: rector@penzgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5011-5354>

Information about the authors

Tatyana M. Kovaleva, postgraduate, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya, 106/5, room 2, Tambov, Russian Federation, 392000, e-mail: tstu@admin.tstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0017-3786>

Sergey M. Vedishchev, DSc in Engineering, professor, Head of the Department of Agroengineering, Tambov State Technical University, st. Sovetskaya, 106/5, room 2, Tambov, Russian Federation, 392000, e-mail: tstu@admin.tstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3759-9809>

✉ **Vladimir Yu. Zaitsev**, PhD in Engineering, associate professor, the Department of Mechanical Engineering Technology, Penza State Technological University, st. Baidukova proezd/Gagarina st., 1a/11, Penza, Penza region, Russian Federation, 440039, e-mail: rector@penzgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6230-0856>, e-mail: vluzai@gmail.com

Vladimir V. Kononov, DSc in Engineering, professor, Penza State Technological University, st. Baidukova proezd/Gagarina st., 1a/11, Penza, Penza region, Russian Federation, 440039, e-mail: rector@penzgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5011-5354>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Математическая модель процесса смешивания полужидких кормов в устройстве с пропеллером

© 2024. М. А. Лушнов✉

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань,
Республика Татарстан, Российская Федерация

В статье рассмотрены вопросы применения пропеллерного аппарата для смешивания полужидких кормовых смесей в смесителе с эксцентрично расположенным рабочим органом в виде пропеллера (винта). До сих пор при изучении процесса смешивания мало внимания уделяли транспортирующей способности рабочего органа в виде пропеллерной мешалки. При приготовлении влажных мешанок широко используют мешалки с вертикально расположенным валом, который находится в центре вертикального цилиндрического резервуара. При установке рабочего органа горизонтально пропеллер, обладая насосным эффектом (осевое движение), может быть использован не только для смешивания, но и для выгрузки готовой кормосмеси, а также перемещения её по трубам на небольшие расстояния. Существующие модели процесса смешивания не учитывают его стохастическую природу. Приемы математического описания процессов смешивания, учитывающих преобладающее осевое движение потока, разработаны недостаточно. Предлагаемые математические модели позволяют определить производительность смесителя и требуемую мощность на смешивание. Исследования проводили с целью повышения эффективности приготовления кормосмеси в горизонтальном смесителе пропеллерного типа с эксцентрично расположенным рабочим органом (винтом) и снижению энергозатрат при увеличении производительности. Объектом исследования служила смесительная камера с эксцентрично расположенным рабочим органом различного диаметра (0,20, 0,25 и 0,35 м). При проведении экспериментов определяли производительность, необходимую на привод вала двигателя мощность. Экспериментально установлено, что увеличение частоты вращения мешалки с 200 до 400 мин⁻¹ с диаметром пропеллера от 0,20 до 0,35 м и при влажности кормовой смеси 84 % приводит к росту потребляемой мощности до 3,5 кВт, производительности смесителя до 12 м³/ч и степени однородности кормосмесей до 98 %.

Ключевые слова: кормосмесь, смеситель, производительность, мощность, рабочий орган, винт

Благодарности: работа выполнена в рамках инициативной научно-исследовательской темы ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет».

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лушнов М. А. Математическая модель процессов смешивания и подачи полужидких кормов в устройстве с пропеллером. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):712–719.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.712-719>

Поступила: 12.03.2024

Принята к публикации: 05.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Mathematical model of the process of mixing semi-liquid feeds in a device with a propeller

© 2024. Maksim A. Lushnov✉

Kazan State Agrarian University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

The article considers the issues of using a propeller apparatus for mixing semi-liquid feed mixtures in a mixer with an eccentrically positioned working body in the form of a propeller (screw). Until now, when studying the mixing process, little attention has been paid to the transporting ability of the working body in the form of a propeller agitator. When preparing wet mixtures, agitators with a vertically positioned shaft, which is located in the center of a vertical cylindrical tank, are widely used. When installing the working body horizontally, the propeller having a pumping effect (axial movement), can be used not only for mixing, but also for unloading the finished feed mixture, as well as moving it through pipes over short distances. The existing models of the mixing process do not take into account its stochastic nature. Methods of mathematical description of mixing processes considering the prevailing axial movement of the flow are scarcely developed. The proposed mathematical models make it possible to determine the mixer's performance and the required mixing power. The research was aimed at increasing the effectiveness of preparing a feed mixture in a horizontal mixer of propeller type with an eccentrically positioned working body (screw) and saving energy costs along with raising the productivity. The object of the study was a mixing chamber with eccentrically located working bodies of various diameters (0.2, 0.25 and 0.35 m). During the experiments, the productivity required to drive the motor shaft was determined. It has been experimentally established that increasing the agitator rotation speed from 200 to 400 min⁻¹ with a propeller diameter from 0.2 to 0.35 m and a feed mixture humidity of 84 % leads to an increase in power consumption to 3.5 kW and mixer productivity to 12 m³/h, and the degree of uniformity of feed mixtures is up to 98 %.

Keywords: feed mixture, mixer, performance, power, working element, screw

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the initiative research topic of the Kazan State Agrarian University.

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interest: The author stated that there was no conflict of interest

For citations: Lushnov M. A. Mathematical model of the process of mixing semi-liquid feeds in a device with a propeller. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(4):712–719. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.712-719>

Received: 12.03.2024

Accepted for publication: 05.07.2024

Published online: 28.08.2024

На сегодняшний день выявлены эффективные методы смешивания кормов с целью получения влажных мешанок (полужидких смесей) и подачи их к месту раздачи. Число технических средств осуществления отмеченных процессов непрерывно растет, удовлетворяя потребности как крупных, так и мелких сельскохозяйственных производств [1, 2, 3].

Смешивание – один из наиболее важных технологических процессов, определяющих уровень качества готовой продукции. После смешивания, как правило, кормовая масса транспортируется к месту раздачи.

При формировании математических моделей важно принимать во внимание то, что транспортирование может быть продолжением смешивания. Математическая модель модуля – смеситель – трубопровод – транспортирующее техническое средство – должна учитывать режимные параметры и внешние характеристики последнего в том случае, когда оно предусмотрено. Такая модель представляет собой формализованное описание одно- или многоуровневых систем смешивания и транспортирования и может выглядеть как суммарная функция вида:

$$K = F(y \dots y_i), \quad (1)$$

где K – критерий оптимальности; y_i – математические модели, описывающие каждый агрегат или участок трубопровода с точки зрения его оптимальной работы.

При этом не следует проводить оценку работы агрегата только с точки зрения его наибольшей эффективности (максимальная производительность при минимальных энергозатратах, либо наиболее высокий КПД), так как основной критерий работы модуля – K , который не обязательно предполагает «наилучшую» работу отдельно взятого агрегата. Относительно модулей «у» можно сказать, что они сами служат функциями от переменного факторного пространства (реологические свойства смесей, геометрические размеры машин, трубопровода и др.).

Отсюда очевидно, что выходные факторы предшествующего агрегата служат входными для последующего. В связи с этим воз-

никает задача стыковки ступеней модуля с точки зрения математического моделирования. Быстродействие современных вычислительных машин позволяет рассчитывать параметры модуля или отдельного агрегата в реальном времени, даже итерационным методом.

Несмотря на достаточно хорошо изученную работу пропеллерной мешалки при смешивании материалов в химической промышленности и гидравлических насосов на воде, установленные при их работе закономерности и формулы расчетов невозможно перенести на сложные и кормовые смеси [4, 5]. Поэтому, используя для выбора факторов будущей модели параметры известных формул и зависимостей, необходимо добавлять дополнительные факторы, обусловленные исходными сырьевыми материалами и факторами конфигураций элементов мешалки и трубопровода [6, 7].

Процесс смешивания реализуется различными аппаратами, в том числе пропеллерными. С их использованием можно перемешивать не только вязкие, но и жидкие среды, к которым относят различного рода гомогенные (однородные) смеси, в том числе дезинфицирующие растворы [8, 9]. Пропеллерные аппараты дают возможность одновременно со смешиванием материальных потоков осуществлять тепло-массообменные процессы и транспортирование. Пропеллер, обладая насосным эффектом (осевое движение), может быть использован для выгрузки готовой кормосмеси, а также перемещения её по трубам на небольшие расстояния.

При анализе работ, связанных с пропеллерными устройствами, можно увидеть, что основной упор направлен на изучение процесса смешивания, транспортным способностям пропеллера уделяли значительно меньше внимания. При этом никакая из полученных моделей процесса смешивания не учитывает их стохастическую природу. В целом математические модели процесса смешивания разработаны недостаточно, а предложения по расчету пропеллерной мешалки имеют эмпирический характер [10, 11, 12].

В этой связи изучение и отработка конструкций пропеллерных устройств важны и актуальны. Успех в их разработке и внедрении возможен при наличии математического описания протекающих процессов.

Цель исследования – разработка математической модели определения параметров смесительной системы и повышение эффективности приготовления полужидких кормосмесей в смесителе путем увеличения его производительности и снижения энергозатрат.

Задача исследования – определение конструктивных и технологических показателей работы смесителя.

Научная новизна – разработаны математические модели определения потребной мощности и производительности при смешивании и лабораторная установка для смешивания полужидких кормосмесей.

Материал и методы. Известно, что смешиванию свойственны признаки марковских случайных процессов (процесс без последствия). То есть состояние в будущем напрямую зависит от происходящего в настоящем и не зависит от того, каким оно было в прошлом для каждого момента времени [12]. Таким образом, с использованием математической модели марковских процессов можно описать процесс смешивания влажных мешанок.

Приемы математического описания процессов смешивания, учитывающих преобладающее осевое движение потока, разработаны недостаточно, а рекомендации по расчетам пропеллерной мешалки носят полуэмпирический характер.

Один из распространенных методов расчета перемещения среды является тот, в котором производительность остается постоянной в течение длительного промежутка времени при наличии соответствующих флуктуаций. Такой метод можно описать с помощью однородных пуассоновских марковских процессов [13].

Для этого допустим, что $x(t)$ – случайная величина, характеризующая число частиц материала, которое принимает участие в пуассоновском потоке, $x = 0, 1, 2, 3, \dots, x_k$ – целочисленные значения, которые может принимать эта случайная величина. В соответствии с постулатами однородного пуассоновского процесса запишем соотношение:

$$P_x(t + \Delta t) = (1 - \nu \cdot \Delta t) \cdot P_{x_i} + \nu \cdot P_{x_{i-1}}(t), \quad (2)$$

где P_x – давление частицы материала, которое принимает участие в пуассоновском потоке, Па;

t – время, с; Δt – изменение времени, с; ν – параметр процесса, характеризующий интенсивность перемещения потока; P_{x_i} – давление i -той частицы материала, которое принимает участие в пуассоновском потоке, Па. При $\Delta t \rightarrow 0$ получим дифференциально-разностное уравнение:

$$\frac{\partial P_{x_i}(t)}{\partial t} = -\nu [P_{x_i}(t) - P_{x_{i-1}}(t)]. \quad (3)$$

Умножим и просуммируем по x уравнение (3):

$$\sum_{i=0}^{x_k} x_i \cdot \frac{\partial P_{x_i}(t)}{\partial t} = \nu \sum_{i=0}^{x_k} P_{x_i}(t), \quad (4)$$

$$\text{где } \sum_{i=0}^{x_k} x_i \cdot \frac{\partial P_{x_i}(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_R x \partial P_x(t) = \frac{\partial}{\partial t} m_x(t).$$

С учетом того, что $\int_R x \partial P_x(t)$ это математическое ожидание числа транспортируемых частиц, записанное для дискретного распределения случайной величины $x(t)$ в области значений R через интеграл Стильтьеса, уравнение (4) примет вид:

$$\frac{\partial m_x(t)}{\partial t} = \nu.$$

Решение этого уравнения с учетом начальных условий $t = 0$ имеет вид:

$$\partial m_x(t) = \nu.$$

Умножив это выражение на $\pi \cdot d^3 \cdot \gamma$, получим:

$$Q_T = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \gamma}{6} \cdot m_x(t) = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \gamma}{6} \cdot \nu \cdot t, \quad (5)$$

где Q – расход за время t , м³/ч; d – средний диаметр перемещаемых частиц, м; γ – средний удельный вес транспортируемого материала, Н/м³; $m_x(t)$ – математическое ожидание случайной величины $x(t)$.

Уравнение (5) содержит величину ν , которая влияет на следующие параметры: наличие смесительной трубы у пропеллера; размеры пропеллера; наличие транспортирующей трубы у пропеллера; размеры смесителя; расстояние пропеллера от стенок емкости и др. [13].

Эксперименты проводили на кафедре машин и оборудования в агробизнесе Казанского ГАУ.

Результаты и их обсуждение. Переходя от моделирования технологического процесса смешивания к определению конструктивных и режимных параметров смесительной установки, рассмотрим схему (рис. 1) для определения производительности смесителя с эксцентрично расположенным рабочим органом (винтом).

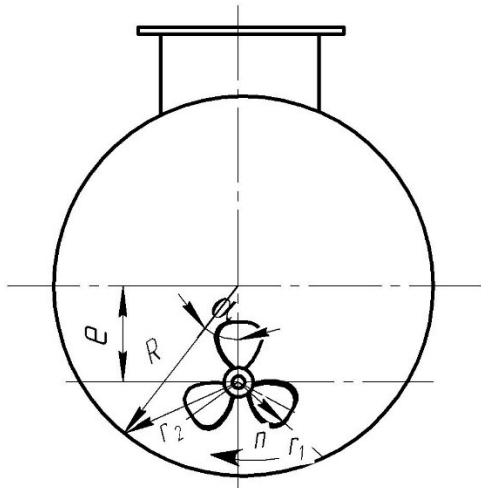


Рис. 1. Схема для расчета производительности смесителя с эксцентрично расположенным рабочим органом (винтом): e – эксцентриситет; r_1 – радиус внутренней кромки мешалки; r_2 – радиус мешалки; R – радиус смесительной емкости; n – частота вращения мешалки, α – угол наклона лопастей /

Fig. 1. Diagram for calculating the productivity of a mixer with an eccentrically positioned working body (screw): e – eccentricity; r_1 – radius of the inner edge of the agitator; r_2 – radius of the agitator; R – radius of the mixing tank; n – speed of rotation of the agitator, α – angle of inclination of the blades

Установить связь влияния частоты вращения рабочего органа на необходимую мощность и производительность нужно для объяснения конструктивных характеристик смесителя.

Потребная мощность определяется для правильного подбора привода смесителя в будущем. Величина этого показателя для привода пропеллера определяется из следующего выражения¹:

$$N_T = \frac{1}{4} n \zeta_{\text{л}} \rho \left[\frac{r_0^4}{4} (r^4 - r_0^4) \cdot [n^2 - 2kn + k^2] - R \left[0,5 \left(\pi D - \left[2a + \frac{1}{3} (2a - e) \right] \right) L H c + \psi \pi \frac{R^4}{3} \right] \right], \quad (6)$$

где n – частота вращения пропеллера, с^{-1} ; $\zeta_{\text{л}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления лопастей мешалки; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; r_0 – внутренний радиус кромки пропеллера, м; r – радиус мешалки, м; k – поправочный коэффициент, с^{-1} ; R – радиус смесительной емкости, м; D – диаметр смесительной емкости, м; $2a$ – хорда дуги верхней части смесительной емкости, не смоченной жидкостью, м; e – хорда дуги, определяемая высотой наполнения емкости смешиваемой жидкостью, м; L – длина смесительной емкости, м; H – высота смесительной емкости, м; c – поправочный коэффициент, м/с^2 ; ψ – поправочный коэффициент, с^{-2} .

Уравнение расхода – это математическое выражение закона сохранения массы и для технических устройств записывается как равенство расхода жидкости через два произвольных сечения. В соответствии с обозначениями, приведенными на рисунке 1, для жидкостного кольца уравнение расхода для смешиваемого потока запишется в виде:

$$\frac{r_2^2 - r_1^2}{2} n L + \int_0^L \int_{r_2}^R V_{\text{ср}} dr dL = Q = \text{const}. \quad (7)$$

Интегрируя выражение (7) в пределах от 0 до L_{max} и от r_2 до R получим, что теоретическая производительность определяется следующим выражением:

$$Q_T = \frac{(r_2^2 - r_1^2)}{2} n L + a \cdot \frac{L_{\text{max}}^2}{4} (R^2 - r_2^2), \quad (8)$$

где r_1 – радиус внутренней кромки мешалки, м; r_2 – радиус мешалки, м; n – частота вращения мешалки, с^{-1} ; L – длина смесительной емкости, м; R – радиус смесительной емкости, м; S – смоченная площадь цилиндрической поверхности, м^2 ; a – поправочный коэффициент, $1/\text{м} \cdot \text{с}$.

Расстояния от центра рабочего органа и центра смесительной камеры (рис. 1) до произвольной точки связаны между собой уравнением:

$$r_2 = \sqrt{(R - e \cos \alpha)^2 + (e \sin \alpha)^2}. \quad (9)$$

Преобразовав уравнения (7), (8), (9), можно определить производительность:

$$Q_T = \frac{R^2 - 2R e \cos \alpha + e^2 - r_1^2}{2} n L + \frac{a L_{\text{max}}^2}{4} (e^2 - 2e \cos \alpha), \quad (10)$$

где e – эксцентриситет, м.

Увеличение производительности достигается путем изменения расположения рабочего органа (добавляется эксцентриситет) и диаметра пропеллера, так как при этом образуется осевой эффект, который снижает сопротивление корма при его движении внутри смесительной камеры.

¹Лушнов М. А. Разработка конструкции и совершенствование рабочего процесса смесителя-запарника полужидких кормов с горизонтальной мешалкой: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2014. 161 с.

Результаты предварительных расчетов² свидетельствуют, что существует зависимость потребной мощности и производительности от диаметра рабочего органа, в качестве которого выступает винт.

На основании математических моделей мощности (6) и производительности предлагаемого смесителя (7), которые позволяют определить отношение длины емкости к ее диаметру $\frac{L}{D}=1,2^3$, разработан и исследован экспериментальный смеситель полужидких кормосмесей (рис. 2). При проведении экспериментальных исследований определяли влияние диаметра мешалки d_M на мощность N и производительность Q смесителя, а также на энергетические (затраты мощности) параметры в зависимости от частоты вращения пропеллера n . Для этого проведены однофакторные эксперименты со смесями различной влажности. Частоту вращения привода поддерживали, равной 400, 350, 300, 250 и 200 мин⁻¹. Влажность W кормосмеси соответствовала 76–84 %. В качестве

рабочих органов использовали винты диаметром 0,20, 0,25 и 0,35 м (рис. 3) [14, 15].

Однородность полученной кормовой смеси определяли общепринятыми методиками [16, 17, 18].

Среднюю величину каждого параметра определяли по результатам трехкратного измерения, а достоверность зависимостей – на основе коэффициента корреляции (R) и его ошибки (mR). Зависимость считали достоверной при выполнении условия $R > 3 \cdot mR$.

На основании полученных теоретических зависимостей (6) и (8) и экспериментальных исследований построены зависимости мощности смешивания (рис. 4) и производительности смесителя (рис. 5), имеющего диаметры рабочего органа, равного 0,35, 0,25 и 0,20 м, при влажности кормосмеси 76–88 % (рис. 6). Оптимальной влажностью кормосмеси, при которой происходит качественное смешивание и увеличивается производительность, принята $W = 84 \%$.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки и его рабочий орган /
Fig. 2. General view of the experimental installation and its working body

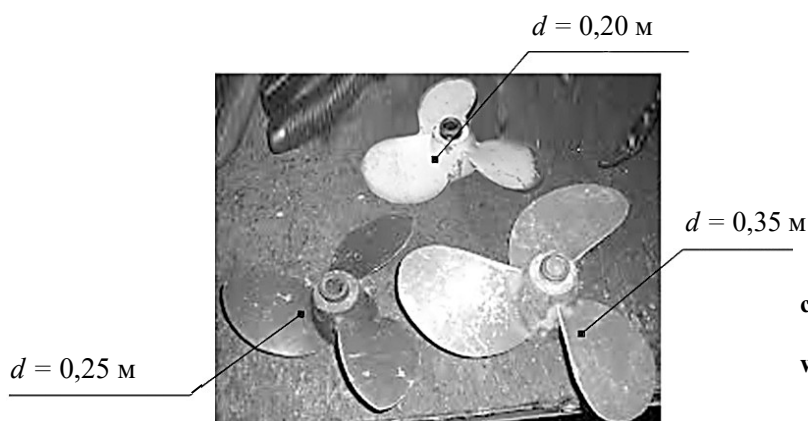


Рис. 3. Виды винтов (пропеллеров) с диаметрами 0,20, 0,25 и 0,35 м /
Fig. 3. Types of screws (propellers) with diameters of 0.20, 0.25 and 0.35 m

²Лушнов М. А. Указ. соч.

³Там же.

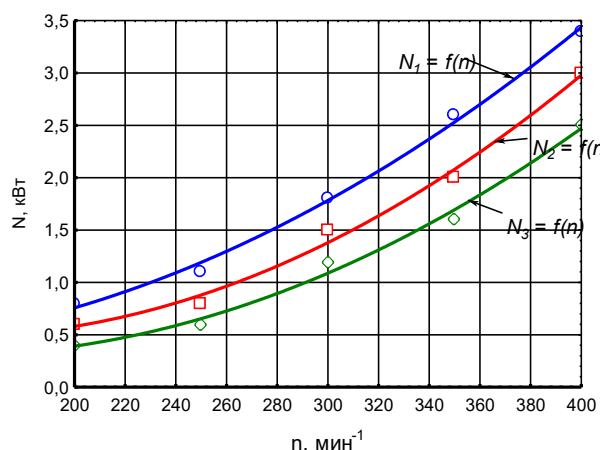


Рис. 4. Зависимости потребляемой мощности смешивания Nn , кВт от частоты вращения n кормосмесей влажности 84 % с диаметром пропеллера: \circ – 0,35; \diamond – 0,25; \square – 0,20 м /

Fig. 4. Dependences of the required mixing power Nn on the rotation speed of n feed mixtures with a humidity of 84% with a propeller diameter equal to: \circ – 0,35; \diamond – 0,25; \square – 0,20 m

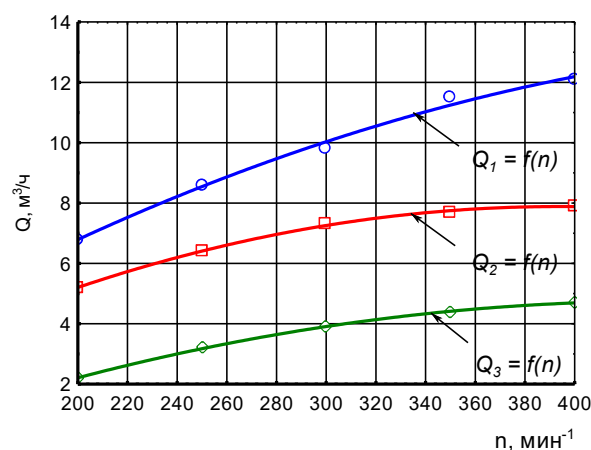


Рис. 5. Зависимости производительности смешивания Q от частоты вращения n кормосмесей влажностью 84 % с диаметром пропеллера: \circ – 0,35; \diamond – 0,25; \square – 0,20 м /

Fig. 5. The dependence of the mixing performance Q on the rotation frequency n of feed mixtures with a humidity of 84 % with a propeller diameter equal to: \circ – 0,35; \diamond – 0,25; \square – 0,2 m.

Результаты анализа представленных зависимостей свидетельствуют о том, что при увеличении частоты вращения мешалки с 200 до 400 мин⁻¹, диаметре пропеллера с 0,20 до

0,35 м и оптимальной влажности $W = 84$ % производительность смесителя изменяется от 2,0 до 12 м³/ч, потребляемая мощность от 1,0 до 3,5 кВт, а степень однородности кормосмесей возрастает с 90 до 98 %.

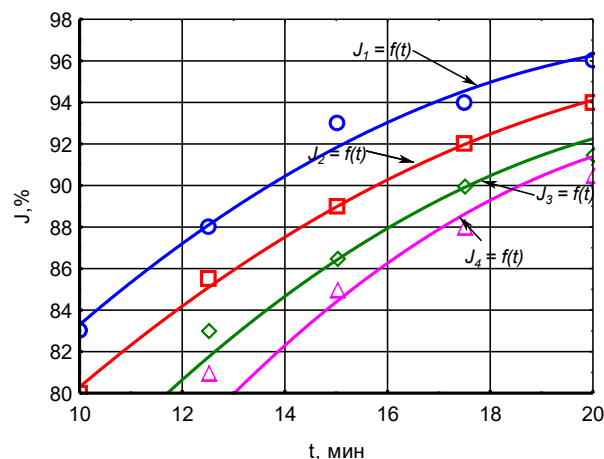


Рис. 6. Зависимости степени однородности кормосмесей $J = f(t_{cm})$ при влажности: \circ – 88 %; \square – 84 %; \diamond – 80 %; Δ – 76 % (при частоте вращения пропеллера $n = 300$ мин⁻¹)

Fig. 6. Dependences of the degree of uniformity of feed mixtures $J = f(t_{cm})$ at humidity: \circ – 88 %; \square – 84 %; \diamond – 80 %; Δ – 76 % (at the propeller rotation speed $n = 300$ min⁻¹)

Выводы. Предложенный подход к составлению математической модели определения параметров смесительной системы позволил определять режимные и конструктивные параметры смесителя и пропеллера, а также производительность и мощность смешивания.

Экспериментально установлено, что увеличение частоты вращения мешалки с 200 до 400 мин⁻¹ при диаметре пропеллера с 0,20 до 0,35 м и оптимальной влажности кормовой смеси 84 % приводит к росту потребляемой мощности до 3,5 кВт, производительности смесителя до 12 м³/ч, а степень однородности кормосмесей до 98 %. Полученные результаты позволяют повысить качество смешивания кормосмеси с небольшими энергетическими затратами.

Список литературы

1. Нафиков И. Р., Хусаинов Р. К., Лукманов Р. Р., Галиев И. Г., Лушнов М. А., Кашапов И. И. Обоснование параметров вакуум-откачных средств с пульсирующим активным потоком. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022;17(1(65)):67–72. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-67-72> EDN: MEVLIIY
2. Сабиров Б. М., Зиганшин Б. Г., Дмитриев А. В., Нафиков И. Р., Сабирова Р. Р. Исследование устройства для дробления зерна. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023;18(1(69)):75–79. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-75-79> EDN: JVHYQP
3. Савиных П. А., Турубанов Н. В., Исупов А. Ю., Зырянов Д. А. Определение оптимальных параметров горизонтального смесителя с ленточным шнеком. Техника и технологии в животноводстве. 2021;(3(43)):66–70.

4. Лушнов М. А. Построение классификационной схемы и анализ устройств для тепловой обработки полужидких кормосмесей. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2013;(5(36)):65–68.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20250678> EDN: RBDUGH
5. Пополдnev Р. С., Сабиров Б. М. Обзор конструкций измельчителей кормов. Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса: научн. тр. Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. памяти д.т.н., проф. Мудрова П. Г. Казань: Казанский ГАУ, 2021. С. 13–22.
6. Зиннатуллин Н. Х., Зиганшин Б. Г., Нафиков И. М., Лушнов М. А., Зиннатуллина Г. Н. Инжекционный смеситель твердых сыпучих материалов. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2017;12(3):68–71.
DOI: https://doi.org/10.12737/article_5a1d96936b0656.58609817 EDN: YMOULQ
7. Петряев А. Л., Чупшев А. В. Установка для тепловой обработки зерна при производстве кормов. Технологии, машины и оборудование в сельском хозяйстве: сб. научн. тр. научн.-практ. конф., Самара, 24 декабря 2021 года. Кинель: Самарский ГАУ, 2022. С. 80–83. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qoczaf> EDN: QOCZAF
8. Abdelfattah A. H., Sabirov R. F., Ivanov B. L., Lushnov M. A., Sabirov R. A. Calibration of soil humidity sensors of automatic irrigation controller. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”*. 2020;17:00249.
DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700249>
9. Иванов Б. Л., Зиганшин Б. Г., Рудаков А. И., Лушнов М. А. Оценка распределения капель дезинфицирующей жидкости по обрабатываемой поверхности. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019;14(3(54)):103–107. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db969d80165a4.44685655 EDN: HNUTDX
10. Gabdräfikov F., Kharisov D., Galiev I., Khusainov R. Modernization of the fuel supply system in the internal combustion engine by electronic control of the ring valve. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”*. 2022;52:00028.
DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200028>
11. Yahin S., Gabdräfikov F., Khaliullin F., Khusainov R., Nafikov I. Improving the operational efficiency of tractors by ensuring their ability to perform work. *International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”*. 2020;17:00111. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700111>
12. Konovalov V., Chupshev A., Teryushkov V., Dontsova M. Simulation of pig productivity under feed consumption. *Scientific Papers. Series D. Animal Scienc.* 2022;65(1):150–157. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49533891> EDN: UCVTGP
13. Мохнаткин В. Г., Брагин А. Ю. Оценка качества работы технологических процессов в животноводстве на примере линий приготовления кормов. Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: мат.-лы XVI Междунар. научн.-практ. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение». Киров, 06 февраля 2023 г. Киров: ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2023. Вып. 23. С. 176–178.
14. Шакиров Р. М., Хусаинов Р. К., Галиев И. Г. Общий подход к процессу смешивания кормов. Современные достижения аграрной науки: науч. тр. Всеросс. (национальной) научн.-практ. конф., посвящ. памяти засл. деятеля науки и техники РФ, проф. Гайнанова Х. С. Казань: Казанский ГАУ, 2021. Т. 1. С. 156–161.
15. Al-Maidi A. A. H., Himoud M. S., Kaliganov A. C., Teryushkov V. P., Chupshev A. V., Konovalov V. V., Rodionov Y. V. Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2021;16:1769–1774. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44973645> EDN: NIZZWM
16. Савиных П. А., Турубанов Н. В., Исупов А. Ю. Определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных комбикормов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(2):293–300.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.293-300> EDN: TBETWK
17. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С., Горбунов Р. М. Оптимизация параметров реактора-смесителя методами планирования эксперимента. Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: мат.-лы XV Междунар. научн.-практ. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение». Киров, 14 февраля 2022 г. Киров: ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2022. Вып. 22. С. 63–66.
18. Мохнаткин В. Г., Поярков М. С., Горбунов Р. М. Статистическая оценка качества смешивания кормов. Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: мат.-лы XV Междунар. научн.-практ. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение». Киров, 14 февраля 2022 г. Киров: ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2022. Вып. 22. С. 70–73.

References

1. Nafikov I. R., Khusainov R. K., Lukmanov R. R., Galiev I. G., Lushnov M. A., Kashapov I. I. Substantiation of the parameters of vacuum pumping facilities with a pulsing active flow. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2022;17(1(65)):67–72. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-67-72>
2. Sabirov B. M., Ziganshin B. G., Dmitriev A. V., Nafikov I. R., Sabirova R. R. Study of a device for crushing grain. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2023;18(1(69)):75–79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-75-79>
3. Savinykh P. A., Turubanov N. V., Isupov A. Yu., Zyryanov D. A. Determination of optimal parameters of a horizontal mixer with a belt screw. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = *Machinery and technologies in livestock*. 2021;(3(43)):66–70. (In Russ.).

4. Lushnov M. A. The construction of a classification scheme and analysis of devices for heat treatment of semi-fluid feeding mixtures. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2013;(5(36)):65–68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20250678>
5. Popoldnev R. S., Sabirov B. M. Feed chopper design overview. The current state and prospects for the development of the technical base of the agro-industrial complex: scientific papers of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor P. G. Mudrov. Kazan: *Kazanskiy GAU*, 2021. pp. 13–22.
6. Zinnatullin N. Kh., Ziganshin B. G., Nafikov I. M., Lushnov M. A., Zinnatullina G. N. Injection mixture of solid, loose materials. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2017;12(3):68–71. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5a1d96936b0656.58609817
7. Petryaev A. L., Chupshev A. V. Installation for thermal processing of grain in the production of feed. Technologies, machinery and equipment in agriculture: collection of scientific papers of the Scientific and Practical Conference, Samara, December 24, 2021. Kinel: *Samarskiy GAU*, 2022. pp. 80–83. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qoczaf>
8. Abdelfattah A. H., Sabirov R. F., Ivanov B. L., Lushnov M. A., Sabirov R. A. Calibration of soil humidity sensors of automatic irrigation controller. BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources". 2020;17:00249. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700249>
9. Ivanov B. L., Ziganshin B. G., Rudakov A. I., Lushnov M. A. Assessment of distribution of disinfecting liquid drops on the surface processed. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(3(54)):103–107. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5db969d80165a4.44685655
10. Gabdrafikov F., Kharisov D., Galiev I., Khusainov R. Modernization of the fuel supply system in the internal combustion engine by electronic control of the ring valve. BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources". 2022;52:00028. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200028>
11. Yahnin S., Gabdrafikov F., Khaliullin F., Khusainov R., Nafikov I. Improving the operational efficiency of tractors by ensuring their ability to perform work. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources". 2020;17:00111. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700111>
12. Konovalov V., Chupshev A., Teryushkov V., Dontsova M. Simulation of pig productivity under feed consumption. Scientific Papers. Series D. Animal Scienc. 2022;65(1):150–157. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49533891>
13. Mokhnatkin V. G., Bragin A. Yu. Assessment of the quality of technological processes in animal husbandry using the example of feed preparation lines. Improving the operational performance of agricultural energy: Proceedings of the XVI International scientific and practical Conference "Science – Technology – Resource Saving", Kirov, February 06, 2023. Kirov: *FGBOU VO Vyatskiy GATU*, 2023. Iss. 23. pp. 176–178.
14. Shakirov R. M., Khusainov R. K., Galiev I. G. General approach to the process of mixing feeds. Modern achievements of agricultural science: Scientific papers of the All-Russian (national) Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of the Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Professor Gainanova H. S. Kazan: *Kazanskiy GAU*, 2021. Vol. 1. pp. 156–161.
15. Al-Maidi A. A. H., Himoud M. S., Kaliganov A. C., Teryushkov V. P., Chupshev A. V., Konovalov V. V., Rodionov Y. V. Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer. International Journal of Agricultural and Statistical Sciences. 2021;16:1769–1774. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44973645>
16. Savinyh P. A., Turubanov N. V., Isupov A. J. Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):293–300. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.293-300>
17. Mokhnatkin V. G., Poyarkov M. S., Gorbunov R. M. Optimization of the parameters of the mixing reactor by methods of experiment planning. Improving the operational performance of agricultural energy: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference "Science – Technology – Resource Saving". Kirov, February 14, 2022. Kirov: *FGBOU VO Vyatskiy GATU*, 2022. Iss. 22. pp. 63–66.
18. Mokhnatkin V. G., Poyarkov M. S., Gorbunov R. M. Statistical assessment of the quality of feed mixing. Improving the operational performance of agricultural energy: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference "Science – Technology – Resource Saving". Kirov, February 14, 2022. Kirov: *FGBOU VO Vyatskiy GATU*, 2022. Iss. 22. pp. 70–73.

Сведения об авторе

✉ **Лушнов Максим Александрович**, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Машины и оборудования в агробизнесе», ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», ул. Карла Маркса, дом 65, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420015, e-mail: info@kazgau.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7339-5408>, e-mail: maksim-lushnov@mail.ru

Information about the authors

✉ **Maksim A. Lushnov, PhD in Engineering**, associate professor at the Department "Machinery and Equipment in Agribusiness", Kazan State Agrarian University, 65 Karl Marx Str., Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420015, e-mail: info@kazgau.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7339-5408>, e-mail: maksim-lushnov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.720-732>

УДК 331.5.024.5:631.145

Развитие инфраструктуры села в контексте сезонной занятости в сельском хозяйстве Российской Федерации

© 2024. Р. Т. Казарян✉

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Российская Федерация

В статье рассматривается малоизученный вопрос сезонной занятости в аграрной экономике, как вектора категории занятости, значение которой возрастает с каждым годом. В этой связи целью исследования является разработка предложений по совершенствованию государственного регулирования вопросов социальной защиты сезонных работников в сельском хозяйстве. Давно назревшие вопросы регулирования трудовых отношений российских сельхозтоваропроизводителей с работниками, принятыми на сезонную работу, в части социальных гарантий требуют своевременного решения. Также на повестке дня остро стоят проблемы обеспечения элементарными базовыми бытовыми условиями привлекаемых работников, особенно это касается жилищных условий, транспортной и телекоммуникационной инфраструктуры. По состоянию на конец 2022 г. лишь 72 % сельских населенных пунктов имеют связь по дорогам с твердым покрытием с сетью дорог общего пользования, а удельный вес домашних хозяйств в сельских населенных пунктах, имеющих доступ к сети Интернет, составил 81,2 %. Научная новизна исследования состоит в разработке конкретных мер государственного участия в развитии базовой сельской инфраструктуры и создании благоприятных условий жизнедеятельности для работников сезонного труда в аграрном производстве. В частности, предложены меры по стимулированию привлечения сезонных работников перспективой улучшения жилищных условий. Использование механизма концессионных соглашений в части развития транспортной инфраструктуры и применение зарекомендовавших себя зарубежных практик в развитии телекоммуникационной инфраструктуры с учетом закрепления на законодательном уровне, позволит наиболее эффективно распорядиться рабочей силой сезонных работников в аграрной сфере.

Ключевые слова: социальная и инженерная инфраструктура, меры поддержки сезонных рабочих, развитие сельских территорий, сельский рынок труда

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Автор благодарит научного руководителя, доктора экон. наук С. Н. Смирнова и рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Казарян Р. Т. Развитие инфраструктуры села в контексте сезонной занятости в сельском хозяйстве Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):720–732.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.720-732>

Поступила: 24.05.2024

Принята к публикации: 02.08.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

Rural infrastructure development in the context of seasonal employment in agriculture of the Russian Federation

© 2024. Razmik T. Kazaryan✉

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation

The article examines the little-studied issue of seasonal employment in the agricultural economy as a vector of the employment category, the importance of which increases every year. In this regard, the purpose of the study is to develop proposals for improving state regulation of social protection issues for seasonal workers in agriculture. The long-overdue issues of regulating the labor relations of Russian agricultural producers with workers employed for seasonal work in terms of social guarantees require timely solutions. Also on the agenda are the acute problems of providing basic living conditions for the employees involved, especially with regard to housing conditions, transport and telecommunications infrastructure. As of the end of 2022, only 72 % of rural settlements have paved roads connected to the public road network, and the proportion of households in rural settlements with Internet access amounted to 81.2 %. The scientific novelty of the research consists in the development of specific measures of state participation in the development of basic rural infrastructure and the creation of favorable living conditions for seasonal workers in agricultural production. In particular, measures are proposed to stimulate the involvement of seasonal workers with the prospect of improving housing conditions. The use of the mechanism of concession agreements in terms of the development of transport infrastructure and the application of proven foreign practices in the development of telecommunications infrastructure, taking into account the consolidation at the legislative level, will allow the most effective use of the workforce of seasonal workers in the agricultural sector.

Keywords: social and engineering infrastructure, measures to support seasonal workers, rural development, rural labor market

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within initiative theme.

The author thanks the supervisor, doctor of economics S. N. Smirnov and the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

For citations: Kazaryan R. T. Rural infrastructure development in the context of seasonal employment in agriculture of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):720–732 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.720-732>

Received: 24.05.2024

Accepted for publication: 02.08.2024

Published online: 28.08.2024

Формирование современной социальной и инженерной инфраструктуры на сельских территориях является важнейшей социальной надстройкой над фундаментом аграрной экономики. Исследование проблем кадрового обеспечения сельского хозяйства, повышения уровня жизни сельского населения, совершенствования сельского расселения непосредственно связаны с развитием социальной инфраструктуры села. В условиях ослабления социальной защищенности населения актуализировались вопросы нормативного обеспечения социального развития села. Отрадно, что в последнее время возрастает внимание к этим проблемам.

В решении системной проблемы развития сельских территорий большие надежды возлагаются на Государственную программу комплексного развития сельских территорий¹. Приоритеты, обозначенные в программе, связаны с созданием условий для обеспечения доступным и комфортным жильем сельского населения, развитием инфраструктуры на сельских территориях и рынка труда (кадрового потенциала) [1]. Однако систематическое сокращение финансирования программы снижает масштабы охвата сельских территорий мероприятиями Программы. По данным Минсельхоза России, за первые два года реализации программы условия жизнедеятельности улучшили около 8 млн человек, в 2022 г. – 1 млн, в 2023 г. по предварительным данным – 1,5 млн человек².

Ввиду синтетичности данной темы, сочетающей различные направления государственного управления, особенно важно совместное участие министерств и профильных ведомств Российской Федерации в развитии сельской местности. На необходимость вклада других государственных программ и национальных проектов указывалось и в поручениях Президента России В. В. Путина в 2014³. Но реальные шаги на пути к реализации поручения сделаны лишь в 2021 году. В рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации в перечень программ, соответствующих сфере реализации Комплексной программы развития сельских территорий, включено 14 программ⁴. Согласно материалам Государственной Думы Российской Федерации за 2022 год, в ней отражены лишь 5 программ: «Развитие культуры», «Развитие физической культуры и спорта», «Развитие федеративных отношений и создание условий для эффективного и ответственного управления региональными и муниципальными финансами», «Охрана окружающей среды», «Воспроизводство и использование природных ресурсов». Вклад указанных программ в социальное обустройство села пока невелик. К примеру, по программе «Развитие культуры» в сельских поселениях в течение 2022–2024 гг. должно быть создано (реконструировано) и капитально отремонтировано 538 объектов, но при этом за предыдущие 3 года (2019–2021 гг.) 728 учреждений культурно-досугового типа на селе были закрыты⁵.

¹Постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 2019 г. №696 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий». [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/122219/> (дата обращения: 05.04.2024).

²Рекомендации парламентских слушаний на тему ««Законодательное обеспечение реализации Государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий». [Электронный ресурс]. URL: <http://komitet-agro.duma.gov.ru/novosti/fa2b9b60-aa6-49e1-b8f5-3a4d1a9257e7> (дата обращения: 05.04.2024).

³Перечень поручений по итогам заседания Госсовета и Совета по реализации приоритетных национальных проектов и демографической политике. Официальный сайт Президента Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/20966> (дата обращения: 05.04.2024).

⁴Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2021 г. № 3734-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/138396/> (дата обращения: 07.04.2024).

⁵Семья как хранитель традиционных духовно-нравственных ценностей российской цивилизации. По материалам «круглого стола». Под общ. ред. Н. А. Останиной. М.: Издание Государственной Думы, 2023. 112 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://duma.gov.ru/media/files/EAHKXaASYTK3saWCiRTdrsAVvLdAaaf3.pdf> (дата обращения: 07.04.2024).

В России проблема низкой обустроенности сельских территорий объектами социальной и инженерной инфраструктуры приобретает все большую актуальность, поскольку продолжается отток активного трудоспособного населения в города и меняется отраслевая структура занятого сельского населения, трансформируясь в направлении снижения уровня занятости, что характерно и мировым тенденциям. В этой связи сезонная занятость может стать полноценным трудовым ресурсным источником в сельскохозяйственном производстве, а совершенствование государственного регулирования в этой области является перспективным направлением с точки зрения теории и практики. Нарастание объемов производства сельскохозяйственной продукции, безусловно, повлечет и рост численности сезонных работников, что является веским аргументом для исследования данного вопроса [2].

Цель исследования – обоснование базовых направлений развития сельской социальной и инженерной инфраструктуры с учетом сезонного труда в сельскохозяйственном производстве Российской Федерации.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить международный опыт влияния развития сельской инфраструктуры в контексте сезонной занятости.
2. Определить базовый набор инфраструктурных объектов, необходимых для сезонных работников сельского хозяйства.
3. Предложить конкретные меры государственного участия в развитии базовой сельской инфраструктуры и создании благоприятных условий жизнедеятельности для работников сезонного труда в аграрном производстве.

Научная новизна – разработка концептуальных подходов государственного регулирования социальной защиты сезонных занятых в отрасли сельского хозяйства Российской Федерации путем создания минимальных социально-бытовых условий жизнедеятельности и расширения их возможностей в улучшении жилищных условий на законодательной основе.

Материал и методы. Исследование базируется на применении комплексного подхода на основе анализа и синтеза открытых статистических данных Росстата, ЕМИСС и Росавтодора, а также отечественного и зарубежного законодательства в части регулиро-

вания аграрного рынка труда и государственной поддержки сельских территорий.

В исследовании автор использует такие термины, как «инфраструктура сельской местности для сезонных рабочих», «сезонный работник сельского хозяйства», «внутренние мигрирующие рабочие сельского хозяйства».

Под инфраструктурой сельской местности, необходимой для сезонных рабочих, автор понимает общественную материально-техническую базу, которая направлена на формирование базовых условий для устойчивого развития сельского хозяйства и привлечения кадров в отрасль.

Сезонный работник сельского хозяйства – это работник, деятельность которого в силу климатических или иных природных условий осуществляется только в рамках одного сезона. Подлежит регистрации в качестве лица, занятого в сезонных отраслях сельского хозяйства [2].

Внутренний мигрирующий рабочий сельского хозяйства – это работник, временно переселенный с целью заработка в другой населенный пункт и возвращающийся по окончании сезонных работ на постоянное место жительства.

При подготовке статьи использованы отечественные и зарубежные нормативные правовые акты в области развития сельскохозяйственного производства, сельских территорий, жилищной инфраструктуры, отраслей социальной сферы, литературные источники, данные международной и национальной статистики.

Результаты и их обсуждение. Уровень занятости зависит от социально-демографических предпосылок и отражает результаты экономической деятельности общества. По уровню, характеру и условиям занятости населения можно судить о национальном благополучии общества и эффективности проводимой социально-экономической политики. Занятость является основополагающим фактором материального благосостояния людей. Отраслевая структура занятого сельского населения имеет устойчивую тенденцию к снижению уровня занятости в аграрном секторе, если в 2010 г. в агросфере было занято 4384 тыс. человек, что составляет 18,7 %, то 2022 г. – 3014 тыс. человек – 18,7 % от общей численности занятого сельского населения (табл. 1).

Таблица 1 – Отраслевая структура занятого сельского населения в Российской Федерации/
Table 1 – Sectoral structure of the employed rural population in Russian Federation

| Показатель / Indicator | 2010 г. | 2015 г. | 2022 г. |
|--|---------|---------|---------|
| Численность занятого сельского населения* – всего, тыс. человек / The number of employed rural population* – total, thousand people | 16864 | 16696 | 16083 |
| В т. ч. занятые в агросфере** / Employed in the agricultural sector** | 4384 | 3690 | 3014 |
| % к общей численности занятых / % of the total number of employees | 26,0 | 22,1 | 18,7 |

* Занятые в 2010, 2015 гг. – в возрасте 15–72 лет, 2022 г. – в возрасте 15 лет и старше; ** Занятые по виду деятельности «сельское и лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» /

* Employed in 2010, 2015 – at the age of 15–72 years, 2022 – at the age of 15 years and older; ** Employed by type of activity «agriculture and forestry, hunting, fishing and fish farming».

Источник: составлена автором⁶ / Source: compiled by the author⁶

Потребность в рабочей силе в период пика сезонных сельскохозяйственных работ перекрывается, как правило, за счет привлечения сезонных работников. Официальная статистика не приводит данные о численности сезонных работников, привлекаемых непосредственно в сельском хозяйстве. Однако оценку можно произвести на основании ежемесячных

данных о численности занятых по виду деятельности «сельское и лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство». Так, по данным официальной статистики за 2020–2022 гг., высокие значения колебаний приходятся на пик производства растениеводческой продукции, что указывает на концентрацию сезонных работников, занятых в растениеводстве (рис.).

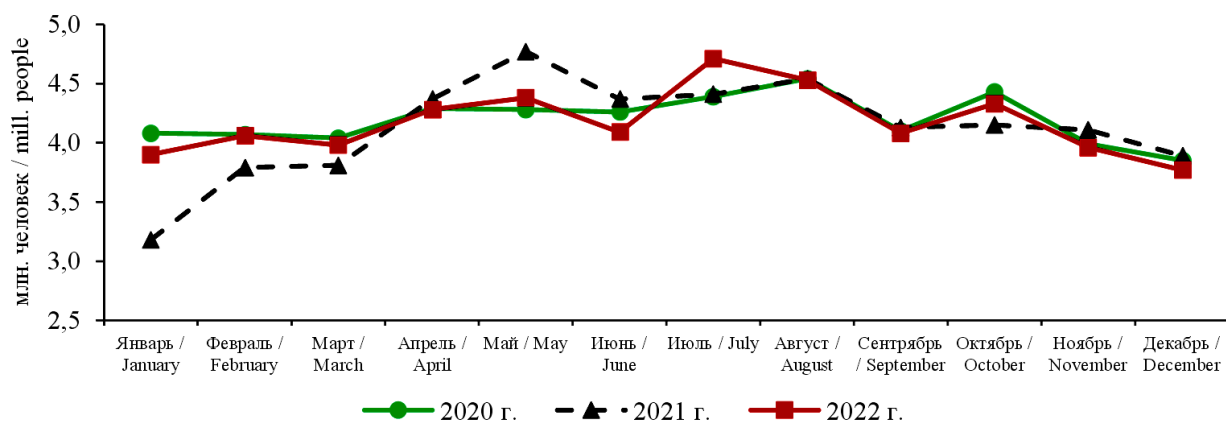


Рис. Распределение численности занятых по виду деятельности «сельское и лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» Российской Федерации в 2020–2022 гг. по месяцам, млн человек /

Fig. Distribution of the number of people employed in agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming in the Russian Federation in 2020–2022 by month, mill people

Источник: составлено автором⁷ / Source: compiled by the author⁷

За последние три года разница в численности занятых на начало периода и на пик сезонных работ составляет в среднем 1 млн человек ежегодно. Без учета занятых в лесном хозяйстве, рыбоводстве, рыболовстве и охоте, общее количество в среднем по стране насчитывает около 600–700 тыс. человек. Соответственно число привлекаемых работников для сезонных работ в сельском хозяйстве может оцениваться до 500 тыс. человек, что состав-

ляет практически 1/6 численности, занятых на постоянной основе в аграрном производстве.

В то же время существует ряд вопросов регулирования трудовых отношений российских сельхозтоваропроизводителей с работниками, занятыми на сезонных работах в сельском хозяйстве. Помимо вопросов социальных гарантий и своевременной оплаты труда, существует проблема обеспечения минимальными бытовыми условиями привлекаемых работников,

⁶Трудовые ресурсы, занятость и безработица. Федеральная служба государственной статистики (Росстат): официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 11.04.2024).

⁷Численность занятых в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве на 01.01.2023. Единая межведомственная информационно-статистическая система ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/59195> (дата обращения: 11.04.2024).

в частности: благоустроенным жильем на период сезонной занятости, наличием транспортной доступности и телекоммуникаций, возможностью получения первой медицинской помощи и культурного досуга во вне-рабочее время.

В научной литературе вопрос развития сельской инфраструктуры в интересах сезонных работников сельского хозяйства практически не освещается. В работе Ю. А. Макуриной, А. Т. Стадника и С. А. Шелковникова [3] рассматривается вопрос о влиянии сезонности на развитие сельских территорий аграрного типа. Развитие инфраструктуры отмечается как один из важных факторов, влияющих на развитие сельских территорий, используемых для проведения их типологизации. Авторами предлагается типологизация сельских территорий по структуре экономики и обосновывается подверженность аграрных территорий влиянию сезонности.

Наиболее часто отечественными авторами затрагивается вопрос развития сельской инфраструктуры без привязки к форме занятости.

Л. В. Бондаренко в своих трудах отмечает, что основными причинами сокращения сельского населения и дефицита квалифицированных кадров в сельскохозяйственных организациях являются неудовлетворительные условия жизнедеятельности для сотрудников, что, в свою очередь, сдерживает модернизацию и наращивание производства продукции АПК [4].

В исследованиях А. Н. Герасимова, О. П. Григорьевой и Е. И. Костюковой решение ряда проблем в агропромышленном комплексе видится за счет совершенствования социальной инфраструктуры, образования, поддержки экономической активности крестьянско-фермерских и личных подсобных хозяйств [5].

Высокую значимость, согласно исследованию С. Г. Головиной, имеют создание институциональной инфраструктуры для обмена информацией, совместных процессов стратегического планирования, реализация разработанных проектов и программ [6].

А. И. Костяев в своих исследованиях делает акцент на максимальном использовании внутреннего потенциала сельских территорий вместо исключительного доминирования внешней поддержки [7]. В этих целях автором предлагается укрепление институционального и инфраструктурного потенциала сельских тер-

риторий, преодоление их изоляции от внешнего мира, в частности, с учётом опыта Европейского союза [8].

В исследовании И. Г. Ушачева, Л. В. Бондаренко и В. С. Чекалина среди основных компонентов комплексного развития сельских территорий определяется развитие социальной инфраструктуры села. Авторы акцентируют внимание на развитии транспортной и инженерной инфраструктуры [9].

Отдельного внимания заслуживает суждение в исследовании С. П. Воробьева, Г. М. Гриценко, В. В. Воробьевой о том, что в случае проживания на территории приложения собственного труда повышается степень ожиданий и требований со стороны работника по отношению к работодателю и наоборот, в случае работы вахтовым методом и удаленности от основного места постоянного жительства снижается степень ожидания работников и ответственности работодателей [10]. Авторы относят данное явление к сфере оплаты труда, однако, на наш взгляд, данный тезис также раскрывает содержательную часть проблемы регулирования сезонного труда в сельском хозяйстве России. По нашему мнению, это касается не только оплаты труда, но и наличия объектов инженерной и социальной инфраструктуры хотя бы на уровне минимальных стандартов жизнеобеспечения. Участие работодателей в решении этих вопросов неизменно повлияет на отношение к труду и сезонных работников, и местного населения в целом.

Анализ международного опыта регулирования сезонной занятости в сельском хозяйстве [11] показывает, что большая часть сезонных рабочих в сельском хозяйстве – иммигранты. В этой связи регулирование сезонной занятости в сельском хозяйстве большей части развитых стран сосредоточено на формировании условий для рабочих, которые приехали из-за рубежа.

Однако ввиду регулятивных и экономических сложностей современной России, таких как пробелы в миграционном законодательстве и нестабильный курс национальной валюты актуальным становится вопрос о привлечении внутрироссийских трудовых ресурсов. Данные процессы перешли и в практическую плоскость. Так, согласно Указу Главы Республики Крым от 15 апреля 2024 года № 86-У «Об установлении на 2024 год запрета на привлечение

хозяйствующими субъектами, осуществляющими деятельность на территории Республики Крым, иностранных граждан, осуществляющих трудовую деятельность на основании патентов, по отдельным видам экономической деятельности»⁸ устанавливается Перечень видов деятельности, по которым работодателям запрещается принимать трудовую силу из-за рубежа. Согласно пункту 1 Перечня, работодателям запрещено привлекать рабочих по виду деятельности «Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях». В случае, если предприниматели не уволят уже трудоустроенных сотрудников, то им грозят штрафные санкции до 4 тыс. рублей для граждан, 50 тыс. рублей для должностных лиц и до 1 млн рублей для юридических лиц и приостановление деятельности предприятия на 90 суток. Руководство региона выразило мнение, что при найме сотрудников работодателям следует отдавать предпочтение российским гражданам, а не трудовым мигрантам.

Данная практика имеет прямое отношение к цели нашего исследования, поскольку замещение иностранной рабочей силы на отечественную в сельском хозяйстве повлечет за собой и повышенные требования сезонных работников к бытовым условиям проживания на сельских территориях. Выходом из создавшейся ситуации может стать практика зарубежных стран во время пандемии COVID-19. К примеру, во Франции при нехватке трудовых ресурсов, в виду закрытия внешних границ страны, организация Action Logement и Министерство сельского хозяйства Франции с 1 апреля 2020 г. учредили пособие в размере 300 евро на два месяца для покрытия расходов на жилье. Одним из условий его получения является наличие сезонного трудового договора и снижение доходов ниже установленного минимального размера оплаты труда. Данная мера поддержки оказалась востребованной и в 2023 г. Объем пособия вырос до 600 евро [11].

Обеспеченность жильем является важнейшим аспектом для сезонных работников и

при отсутствии таковой возможно использовать компенсационные выплаты за аренду жилища.

В Канаде действует Программа сезонных сельскохозяйственных рабочих (SAWP), которая позволяет фермерам нанимать иностранных рабочих на срок до 8 месяцев из 12⁹. Согласно действующим условиям, работодатели должны гарантировать медицинскую страховку, бесплатное жилье и транспорт. Однако для развития аналогичных программ необходимо соответствующее обеспечение транспортной инфраструктурой.

Строительство дорог в сельской местности повышает доступность услуг и товаров, улучшает логистику и снижает транспортные расходы для местного населения, является мощным стимулом развития сельской экономики и расширяет возможности сельского рынка труда, способствуя привлечению рабочей силы, в том числе и сезонной.

Основным препятствием на пути развития сельских районов Китая на протяжении многих лет были плохие дороги и транспортное сообщение в сельских районах, которые препятствовали свободному потоку торговли и движению трудовых ресурсов. За последнее десятилетие были предприняты шаги, чтобы решить эти проблемы. Согласно данным Министерства транспорта Китая¹⁰, за последние 10 лет страна направила 110 млрд долларов, собранных от налога на покупку транспортных средств, на проекты транспортной инфраструктуры в сельской местности, из которых большая часть была использована в районах с небольшой численностью населения, проживающего за чертой бедности. Инвестиции в сельские дороги оказали значительное влияние на занятость в сельской местности. За первое полугодие 2022 года было создано 49 тыс. рабочих мест для жителей сельской местности.

Исследование Индийского опыта показало, что инвестиции в сельские дороги и сельскохозяйственные исследования оказали большее влияние на сокращение бедности и рост производительности, чем другие государственные инвестиции [12].

⁸Указ Главы Республики Крым от 15 апреля 2024 года № 86-У. [Электронный ресурс].

URL: <https://rk.gov.ru/documents/09dcb5f9-762f-4e24-a1a7-4a78871db380> (дата обращения: 04.05.2024).

⁹ Seasonal Agricultural Workers Program of Canada. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.canada.ca/en/revnue-agency/services/formspublications/publications/rc4004/seasonal-agricultural-workers-program.html> (дата обращения: 11.10.2023).

¹⁰New roads providing jobs in rural areas: China Daily. [Электронный ресурс].

URL: <http://chinadailyglobal.com/a/202207/29/WS62e33289a310fd2b29e6f0f7.html> (дата обращения: 05.05.2024).

Одной из значимых проблем в сельской местности является большое различие в условиях жизни, по сравнению с городом, и данный вопрос играет ключевое значение для соискателей сезонной работы в сельском хозяйстве¹¹. Значимую роль в разрешении данного вопроса имеет доступ к сети Интернет и в целом цифровизация на селе.

Отечественные авторы также уделяют данному вопросу отдельное внимание. Так, согласно исследованию А. И. Костяева [13], барьерами цифровизации сельской местности в России являются низкая плотность населения и сельских поселений, что усложняет создание цифровой инфраструктуры. Например, в США данному вопросу уделяется большое внимание, так как высокоскоростной доступ к сети Интернет – это современная потребность, необходимая для процветания сельских районов. В этой связи в стране действует ряд программ по улучшению инфраструктуры за счет инвестиций в высокоскоростной интернет. Например, Фондом цифровых возможностей для сельских районов на 10-летний период выделено 20,4 млрд долл. для предоставления широкополосной сети Интернет домохозяйствам и малым предприятиям сельских районов. В 2020 г. был объявлен аукцион по обеспечению широкополосной связи от 20 до 100 Мбит/с более чем 10 млн сельских жителей США, а также сельскохозяйственным предприятиям [11].

Доступ к сети интернет также позволяет иметь выход к сфере образования и здравоохранения в сельской местности. В целях преодоления разрыва между городом и селом в США действуют различные программы государственной поддержки. Например, конкурсная программа грантов Министерства сельского хозяйства США «Distance Learning & Telemedicine Grants» помогает сельским общинам использовать передовые телекоммуникационные технологии для связи с внешним миром, нивелируя удаленность и низкую плотность проживания населения. Жители могут получить от 50 тыс. до 1 млн долл. в целях приобретения средств связи, аудио- и видеоборудования для дистанционного обучения или телемедицины [11]. Следовательно, такими же бла-

гами могут пользоваться и сезонные рабочие, которые прибыли из других регионов.

В Германии данному вопросу также уделяется большое внимание. Одной из целей Федерального Правительства является обеспечение к 2025 году полного покрытия страны высокоскоростным интернетом с минимальной скоростью 1 Гбит/с. При этом властями осознается факт нецелесообразности такого решения для сельской местности, в которой подключения до 200 Мбит/с достаточно, для того чтобы пользоваться современными технологиями на предприятии и в личных целях. В этой связи принята Стратегия в области мобильной связи, в которой имеется дополнительный блок для поддержки улучшения сети в сельской местности, адаптированной под нужды фримёров и предоставленной за разумную плату. На реализацию проекта направлено 60 млн евро [14].

Международный опыт по поддержке телекоммуникационной инфраструктуры демонстрирует, что благодаря стабильной работе сети Интернет в сельской местности возможно получать образование и повышать квалификацию, пользоваться услугами телемедицины, участвовать в культурной и общественной жизни. Все это весьма актуально для работников, занятых сезонным трудом и оторванных от семьи.

Международный опыт по развитию сельской инфраструктуры свидетельствует о потребности в наиболее значимых инфраструктурных объектах для удовлетворения потребностей сезонных работников и мерах поддержки, которые требуют наибольшего внимания со стороны государства. К ним относятся жилищные условия, дороги и телекоммуникации.

Жилищные условия. В Российской Федерации предусмотрен ряд жилищных программ для строительства, приобретения и реконструкции жилья: выплаты на строительство или покупку дома по государственной программе «Комплексное развитие сельских территорий»¹², сельская ипотека, кредит на благоустройство с процентной ставкой до 5 %, программы поддержки бюджетников, такие как «Земский доктор», «Земский фельдшер» и «Земский учитель».

¹¹Не идут. Почему АПК сложно привлекать специалистов и что с этим делать. Agrobok. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrobok.ru/blog/user/inga/ne-idut-pochemu-apk-slozhno-privlekat-specialistov-i-chto-s-etim-delat> (дата обращения: 05.05.2024).

¹²URL: <http://government.ru/docs/all/122219/>

При этом реализация данных мер поддержки вызывает вопросы. Законодательного ограничения на приобретение жилья по программе льготной ипотеки для сезонных работников сельского хозяйства нет. Банки устанавливают собственные требования к заемщику о стаже работы. Наиболее популярно требование о наличии стажа по последнему месту работы не менее трех месяцев. При отсутствии работы в межсезонье предлагается предоставлять сезонным рабочим возможность выхода на ипотечные каникулы или беспроцентный льготный период. Главная задача состоит в том, что домохозяйствам, члены которого заняты сезонным трудом в сельском хозяйстве и доходы которых зависят от сезонного фактора производства, была оказана поддержка.

Для сезонных работников сельского хозяйства, которые не имеют возможности либо потребности в приобретении жилья, предлагаются такие меры государственной поддержки:

- строительство качественного муниципального жилья на сельских территориях для сдачи в аренду по договорам найма жилых помещений. Средним и малым сельскохозяйственным предприятиям компенсация затрат на проживание сезонных работников в муниципальном жилищном фонде;

- ежемесячные выплаты на аренду жилья, если у работодателя нет возможности расселить работника;

- частичное возмещение затрат малым и средним предприятиям на строительство жилых помещений для наемных работников.

Данные механизмы поддержки предлагается отразить в государственной программе Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий».

Транспортная инфраструктура. В Российской Федерации утверждена Стратегия устойчивого развития сельских территорий¹³, одной из задач которой является развитие дорожно-транспортной инфраструктуры сель-

ских территорий. Согласно Стратегии, в сфере развития дорожно-транспортной инфраструктуры необходимо увеличить темпы строительства дорог в сельской местности для обеспечения подъезда по дорогам с твердым покрытием до сельских населенных пунктов, улучшить транспортное обслуживание сельского населения путем увеличения числа сельских населенных пунктов, обслуживаемых автобусами, числа и протяженности автобусных маршрутов.

В составе местной автодорожной инфраструктуры особое значение имеют дороги, соединяющие сельские населенные пункты с сетью дорог общего пользования региона. Обеспеченность сельских населенных пунктов дорожно-транспортной связью улучшается медленно. По данным Росавтодора, за последние 12 лет (2011–2022 гг.) [15] количество сельских населенных пунктов, имеющих связь по дорогам с твердым покрытием с сетью дорог общего пользования, увеличилось только на 4,6 тыс. (4,5 %). В полной транспортной изоляции находится почти 1/3 российских сел и деревень (табл. 2).

Следует отметить, что финансовые возможности, зафиксированные в Ведомственном проекте «Развитие транспортной инфраструктуры на сельских территориях»¹⁴, недостаточны для полноценного решения транспортного обеспечения сельских территорий.

Руководство одной из ведущих в России компаний в области стратегического консалтинга и планирования развития транспортной отрасли ООО «Транспортная интеграция» отмечает ряд проблем в развитии транспортной инфраструктуры на селе. Согласно мнению экспертов, грунтовые дороги не обеспечивают требования безопасности движения, а затраты на перевозки увеличиваются в 2-3 раза по сравнению с усовершенствованными дорожными путями¹⁵.

¹³Распоряжение Правительства Российской Федерации от 2 февраля 2015 г. № 151-р. «Об утверждении стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-02022015-n-151-r/> (дата обращения: 09.05.2024).

¹⁴URL: <http://government.ru/docs/all/122219/>

¹⁵Развитие транспортной доступности сельских территорий РФ: Российская академия транспорта. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosacademtrans.ru/transportnayadostupnost/> (дата обращения: 09.05.2024).

Таблица 2 – Обеспеченность сельских населенных пунктов (с. н. п.) Российской Федерации дорожно-транспортными коммуникациями/

Table 2 – Provision of rural settlements of Russian Federation (rural settlements) with road transport communications

| Сельские населенные пункты / Rural settlements | 2010 г. | 2022 г. | 2022 г. к 2010 г., % (±) / 2022 by 2010, % (±) |
|--|---------|---------|--|
| Имеют связь по дорогам с твёрдым покрытием с сетью дорог общего пользования, тыс. ед. / They have a connection on paved roads with a network of public roads, thousand units | 102,4 | 107,0 | 104,5 |
| % от общего количества с. н. п. / % of the total number of agricultural settlements | 68,8 | 72,0 | 3,2 |
| Не имеют связи по дорогам с твердым покрытием с сетью дорог общего пользования региона, но обеспечены по локальной автодорожной сети связью с ближайшей ж/д станцией, морским или речным портом (пристанью), аэропортом, тыс. ед. / They do not have a connection on paved roads with the network of public roads in the region, but they are provided with a connection to the nearest railway station, sea or river port (marina), airport via the local road network, thousand units | 3,9 | 1,8 | 46,2 |
| % от общего количества с. н. п. / % of the total number of agricultural settlements | 2,6 | 1,2 | -1,4 |
| Не имеют связи по дорогам с твердым покрытием с сетью дорог общего пользования региона и не обеспечены по локальной автодорожной сети связью с ближайшей ж/д станцией, морским или речным портом (пристанью), аэропортом, тыс. ед. / They are not connected by roads with a solid surface to the network of public roads in the region and are not provided by a local road network with a connection to the nearest railway station, sea or river port (station), airport, thousand units | 42,7 | 39,9 | 93,9 |
| % от общего количества с.н.п. / % of the total number of agricultural settlements | 28,6 | 26,8 | -1,8 |

Источник: составлено автором¹⁶ / Source: compiled by the author¹⁶

Эксперты ООО «Транспортная интеграция» предлагают возможные варианты решения проблем через расширение перечня мероприятий и увеличение объема их финансирования в составе государственных программ «Комплексное развитие сельских территорий» и «Развитие транспортной системы» или формирование нового национального проекта «Транспортное развитие сельских территорий».

Данные предложения не в полной мере эффективны, так как реализация уже действующих проектов, в которых отражены основные аспекты для решения существующих проблем, не в полной мере справляются с поставленными задачами. Формирование новых нацио-

нальных проектов лишь увеличит число нереализованных мероприятий, а финансовые средства, которые будут направлены на разработку этих проектов, целесообразнее использовать на строительство дорог. Наиболее привлекательным для решения данных проблем, по нашему мнению, является механизм концессионных соглашений, в рамках которого возможно привлечение большого количества инвесторов для развития транспортной инфраструктуры. Согласно законодательству¹⁷, концессионер может зарабатывать на дорогах, предоставляя услуги по обслуживанию дороги, размещению рекламы, объектов придорожного сервиса и других источников.

¹⁶Сведения об автомобильных дорогах общего пользования и сооружениях на них федерального, регионального или межмуниципального значения. Федеральное дорожное агентство Росавтодор. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/> (дата обращения: 09.05.2024).

¹⁷Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2005 № 115-ФЗ «О концессионных соглашениях». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_54572/ (дата обращения: 04.05.2024).

Удачный пример в развитии транспортной инфраструктуры в сельской местности проведен в Китае, где средства от транспортного налога были направлены на развитие сельской дорожной инфраструктуры¹⁸. Согласно официальным данным, подобная мера финансового регулирования положительно повлияла на сельские территории и рынок труда. В Российской Федерации нет специального закона, регламентирующего распределение средств транспортного налога на целевую инфраструктуру. Деньги направляются в региональные бюджеты и могут быть использованы на различные цели. С учетом Китайского опыта предлагается применить подобный механизм в Российской Федерации.

Телекоммуникационная инфраструктура. На сегодняшний день одна из потребностей современного человека тесно связана с доступом к современным средствам связи, в частности к сети Интернет. Данный вопрос особенно актуален для сезонных рабочих, приехавших из других регионов, населенных пунктов и нуждающихся в постоянной связи с семьей.

Согласно Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации, на период до 2030 год¹⁹ необходимо с помощью современных средств связи обеспечить доступ к мобильной связи и широкополосный доступ к сети Интернет в максимально возможном числе сельских населенных пунктов с учетом технических возможностей. Доступность услуг связи будет являться одним из ключевых факторов, обеспечивающих повышение качества жизни населения в сельской местности и повышающих привлекательность сельского образа жизни. Информационные технологии все больше внедряются в жизнь городского и сельского населения, сокращается межпосе-

ленческий разрыв по этому индикатору. Удельный вес домашних хозяйств, имеющих доступ к сети Интернет, увеличился в городской местности с 54,2 % в 2010 г. до 88,3 % в 2022 г., в сельской местности соответственно – с 31,6 до 81,2 %²⁰.

В рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» с 2018 по 2024 год реализуется федеральный проект «Информационная инфраструктура», одной из задач которого является обеспечение оказания универсальных услуг связи на территории Российской Федерации и предоставление доступа к сети Интернет в 13,9 тыс. населенных пунктов с численностью от 250 до 500 человек. Согласно отчетам, данная задача выполнена²¹.

При этом следует отметить, что количество сел с населением менее 100 человек составляет 94,1 тыс.²², и в рамках федерального проекта данные населенные пункты не указаны. В связи с этим предлагается продлить проект «Информационная инфраструктура», для обеспечения оказания услуг связи на территории населенных пунктов с численностью до 250 человек.

Как показал анализ выборочных обследований Росстата за 2022 год²³, основной причиной отсутствия доступа к сети Интернет с персонального компьютера как в городе (9,4 % домохозяйств), так и на селе (13,3 %) является отсутствие необходимости, интереса и желания пользоваться данной услугой. Вторая по значимости причина и для горожан (4,4 %), и для сельчан (7,5 %) – недостаток навыков для работы в сети Интернет. На высокую стоимость подключения к сети Интернет ссылается 1,2 % городских и 2 % сельских жителей.

¹⁸Sustainable Development of Transport in China. China's State Council Information Office. [Электронный ресурс]. URL: http://english.scio.gov.cn/node_8021159.html (дата обращения: 04.05.2024).

¹⁹URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-02022015-n-151-r/>

²⁰Федеральная служба государственной статистики. Выборочное федеральное статистическое наблюдение по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/business/it/ikt22/index.html (дата обращения: 09.05.2024).

²¹Доклад о реализации Плана деятельности Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации на период 2019 – 2024 годов за 2023 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/9477/> (дата обращения: 09.05.2024).

²²Федеральное дорожное агентство Росавтодор: отчеты № 1-ДГ и № 2-ДГ за 2023 год (сведения о федеральных и региональных дорогах). [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravlenie-egionalnogo-razvitiya-i-realizacii-nacionalnogo-proekta/otchetnost> (дата обращения: 10.05.2024).

²³URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/business/it/ikt22/index.html

Опыт США демонстрирует, что сфокусированное внимание на распространении сети Интернет в сельской местности является одним из ключевых направлений развития аграрного производства, оказания социальных услуг, поиска работы и в целом повышения качества жизни сельского населения [14].

Благодаря сети Интернет реализуется доступ к образованию и здравоохранению в сельской местности, что немаловажно и для сезонных рабочих. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации активно использует практику образовательных программ на своих платформах.

По аналогии принимаемых мер в США, предлагается внедрение государственных грантов на приобретение персональных средств связи для работников, основной род деятельности которых связан с сезонным трудом в сельском хозяйстве. При этом следует рассмотреть возможность выдачи грантов с условием приобретения персональных средств связи отечественного производства.

Заключение. Изучение международного опыта, отечественных нормативных документов и статистических данных показало, что в ряде стран широко используются достаточно эффективные меры материальной поддержки занятых на сезонных работах в сельскохозяйственном производстве, а также меры по развитию сельской социальной и инженерной инфраструктуры. Особенно востребованными инфраструктурными объектами у сезонных работников, занятых в аграрном производстве, являются жилье, дороги и телекоммуникации.

Исходя из полученных результатов исследования, для привлечения сезонных работ-

ников, приезжающих из соседних регионов и поселений Российской Федерации и не имеющих потребности в приобретении собственного жилья, предлагаются такие меры поддержки:

- строительство муниципального жилья для сдачи в аренду по договорам найма жилых помещений;
- ежемесячные выплаты на аренду жилья при отсутствии жилых помещений у работодателя;
- полное или частичное возмещение затрат малым и средним предприятиям на строительство жилых помещений для сезонных работников.

Для развития транспортной инфраструктуры сельских населенных пунктов Российской Федерации рекомендуется:

- использование механизма концессионных соглашений, в рамках которого возможно привлечение большого количества инвесторов;
- внедрение в Российское законодательство положений о распределении средств транспортного налога на целевую инфраструктуру, в частности, на дороги в сельской местности.

В части развития телекоммуникационной инфраструктуры российских сел предлагается:

- расширение федерального проекта «Информационная инфраструктура» посредством включения населенных пунктов с населением менее 250 человек в перечень территорий, где необходимо предоставление доступа к сети Интернет;
- использование гранта на приобретение персональных средств связи для сезонных работников сельского хозяйства.

Список литературы

1. Набиева А. Р. Государственная поддержка развития сельской территории. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2020;(1):43–52. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43042994> EDN: BDES VQ
2. Казарян Р. Т. Государственное регулирование сезонной занятости в сельском хозяйстве России: социально-правовые аспекты. АПК: Экономика, управление. 2024;(1):17–25. DOI: <https://doi.org/10.33305/241-17> EDN: ERWVLT
3. Макурина Ю. А., Шелковников С. А., Стадник А. Т. Учет сезонности в функционировании и развитии сельских территорий аграрного типа. Управление рисками в АПК. 2022;43:9–23. Режим доступа: <https://www.agrorisk.ru/pub/202201/1>
4. Бондаренко Л. В. Социальное и трудовое обеспечение развития агропромышленного комплекса России. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019;(12):3–16. DOI: <https://doi.org/10.33938/1912-3> EDN: ZQEEVZ
5. Герасимов А. Н., Костюкова Е. И., Григорьева О. П. Проблемы занятости населения в сельском хозяйстве. АПК: экономика, управление. 2022;(1):30–35. DOI: <https://doi.org/10.33305/221-30> EDN: NAMGTE

6. Головина С. Г., Кузнецова А. Р., Головин К. И. Перспективы функционирования социальных предприятий в границах сельских территорий. Уфимский гуманитарный научный форум. 2024;(1(17)):70–95. DOI: <https://doi.org/10.47309/2713-2358-2024-1-70-95> EDN: DXXVPT
7. Костяев А. И. К вопросу о научных основах разработки стратегий развития сельских территорий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):462–474. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474> EDN: QFSFCK
8. Костяев А. И. Концептуальные подходы к развитию сельских территорий с учётом европейского опыта. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(6(67)):141–148. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.141-148> EDN: YPVTED
9. Ушачев И. Г., Бондаренко Л. В., Чекалин В. С. Основные направления комплексного развития сельских территорий России. Вестник Российской академии наук. 2021;91(4):316–325. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587321040113> EDN: UXXXUK
10. Воробьев С. П., Грищенко Г. М., Воробьева В. В. Особенности формирования и реализации экономических интересов в сельском хозяйстве. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(6(61)):78–83. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32375886> EDN: YNQLXL
11. Казарян Р. Т. Аспекты аграрной политики развитых стран по регулированию занятости, доходов, миграции в сельской местности в контексте социальной защиты сезонных рабочих. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023;(6):125–142. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-6-125-142> EDN: MOYVMD
12. Fan S., Hazell P., Thorat S. Government Spending, Growth and Poverty in Rural India. American Journal of Agricultural Economics. 2000;82(4):1038–1051. DOI: <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00101>
13. Kostyaev A. I. Socio-economic Problems of Digital Transformation of Rural Areas. Agriculture Digitalization and Organic Production: Proceedings of the Third International Conference on Agriculture Digitalization and Organic Production (ADOP 2023), St. Petersburg, 05–07 июня 2023 года. St. Petersburg: Springer Nature Singapore, 2023. pp. 3–14. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4165-0_1
14. Кусаинова А. Б., Казарян Р. Т. Государственная поддержка развития цифровых технологий агропромышленного комплекса в Евразийском экономическом союзе. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021;2(12):151–156. DOI: <https://doi.org/10.33938/21122-151> EDN: PESSLG
15. Бондаренко Л. В., Симановский Н. А. Сельские дороги: состояние и перспективы. Экономика сельского хозяйства России. 2020;(10):86–92. DOI: <https://doi.org/10.32651/2010-86> EDN: GSGSWS

References

1. Nabieva A. R. State support for rural development. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki* = Fundamental and applied researches of the cooperative sector of the economy. 2020;(1):43–52. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43042994>
2. Kazaryan R. T. State regulation of seasonal employment in agriculture in Russia: socio-legal aspects. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2024;(1):17–25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33305/241-17>
3. Makurina Yu. A., Shelkovnikov S. A., Stadnik A. T. Consideration of seasonality in the functioning and development of rural areas of agricultural type. *Upravlenie riskami v APK* = Agricultural Risk Management. 2022;43:9–23. (In Russ.). URL: <https://www.agrorisk.ru/pub/202201/1>
4. Bondarenko L. V. Social and labor resources development of the agricultural complex of Russia. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2019;(12):3–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33938/1912-3>
5. Gerasimov A. N., Kostyukova E. I., Grigorieva O. P. Problems of employment in agriculture. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2022;(1):30–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33305/221-30>
6. Golovina S. G., Kuznetsova A. R., Golovin K. I. Prospects for social enterprises functioning within rural territories. *Ufimskiy humanitarnyy nauchnyy forum*. 2024;(1(17)):70–95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47309/2713-2358-2024-1-70-95>
7. Kostyaev A. I. On the scientific basis for developing rural development strategies. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):462–474. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474>
8. Kostyaev A. I. Conceptual approaches to the development of rural areas, taking into account the European experience. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;67(6):141–148. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.141-148>
9. Ushachev I. G., Bondarenko L. V., Chekalin V. S. The main directions of the integrated development of rural areas of Russia. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* = Herald of the Russian Academy of Sciences. 2021;91(4):316–325. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587321040113>

10. Vorobyov S. P., Gritsenko G. M., Vorobyova V. V. Features of formation and realization of the economic interests in agriculture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(6(61)):78–83. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32375886>

11. Kazaryan R. T. Aspects of the agricultural policy of developed countries on the regulation of employment, income and migration in rural areas in the context of social protection of seasonal workers. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2023;(6):125–142. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-6-125-142>

12. Fan S., Hazell P., Thorat S. Government Spending, Growth and Poverty in Rural India. *American Journal of Agricultural Economics*. 2000;82(4):1038–1051. DOI: <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00101>

13. Kostyaev A. I. Socio-economic Problems of Digital Transformation of Rural Areas. Agriculture Digitalization and Organic Production: Proceedings of the Third International Conference on Agriculture Digitalization and Organic Production (ADOP 2023), St. Petersburg, 05–07 июня 2023 года. St. Petersburg: Springer Nature Singapore, 2023. pp. 3–14. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4165-0_1

14. Kusainova A. B., Kazaryan R. T. State support for the development of digital technologies of the agroindustrial complex in the eurasian economic union. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2021;2(12):151–156. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33938/21122-151>

15. Bondarenko L. V., Simanovskiy N. A. Rural roads: state and prospects. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2020;(10):86–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32651/2010-86>

Сведения об авторе

✉ **Казарян Размик Тигранович**, аспирант Института социальной политики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», ул. Мясницкая, д. 20, г. Москва, Российская Федерация, 101000, e-mail: hse@hse.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2611-5933>, e-mail: rkazaryan@hse.ru

Information about the author

✉ **Razmik T. Kazaryan**, postgraduate student, Institute of Social Policy of the National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya str., Moscow, Russian Federation, 101000, e-mail: hse@hse.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2611-5933>, e-mail: rkazaryan@hse.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Межрегиональная выставка-демонстрация «День Поля – 2024» на полях Чувашского НИИСХ



17-18 июля 2024 года на базе Чувашского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока состоялась XVIII республиканская выставка-демонстрация «День поля». Организаторами мероприятия выступили: Министерство сельского хозяйства Чувашской Республики, КУП Чувашской Республики «Агро-Инновации», Чувашский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

В выставке приняли участие 74 компании из 16 регионов России, а также более 2,5 тысяч специалистов и заинтересованных лиц. На площадке было выставлено 245 единиц техники и оборудования.

На Дне поля были продемонстрированы посевы новых сортов зерновых и кормовых культур селекции ФАНЦ Северо-Востока, Московского НИИСХ, Краснодарского НИИСХ имени П. П. Лукьяненко, Аграрного научного центра «Донской», Самарского научного центра, Ульяновского НИИСХ и др., а также передовые технологии.



В рамках Дня поля состоялся семинар «Наука – производству: новые сорта и технологии для повышения эффективности сельского хозяйства».



С приветствием к участникам обратились директор КУП Чувашской Республики «Агро-Инновации» Н. И. Васильев и директор ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока И. А. Устюжанин.

Ученые ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока выступили с докладами: «Современные сорта зерновых культур селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока: особенности и преимущ-



мущества» (зам. директора по селекционной работе академик РАН Г. А. Баталова); «Диагностика устойчивости растений к почвенным стрессам» (зав. отделом эдафической устойчивости растений доктор биол. наук Е. М. Лисицын); «Новые сорта гороха и сои в решении проблемы растительного белка» (зав. лабораторией зернобобовых культур Фаленской селекционной станции, научный сотрудник С. С. Пислегина и заместитель директора по научной работе Чувашского НИИСХ кандидат



с.-х. наук И. Ю. Иванова); «Результаты и перспективы селекции многолетних трав в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока» (зав. лабораторией селекции и первичного семеноводства многолетних трав кандидат с.-х. наук Е. Г. Арзамасова); «Ресурсосберегающие технологии в земледелии» (директор Мордовского НИИСХ доктор с.-х. наук А. А. Артемьев).

