

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

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 24
№ 4
2023

Vol. 24
No. 4
2023

© 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 охот-
ничьего хозяйств при приоритет-
ном освещении проблем рацио-
нального природопользования и
адаптации агроэкосистем север-
ных территорий к меняющимся
климатическим условиям.

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

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
(Растениеводство.
Защита растений.
Сельскохозяйственная
микробиология и микология.
Хранение и переработка
сельскохозяйственной продукции.
Земледелие, агрохимия,
мелиорация. Кормопроизводство:
полевое 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 Наталья Николаевна, инженер по НТИ научно-
организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,
Шемуранова Наталья Александровна – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельско-
хозяйственных животных, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока,
г. Киров, Россия

Редакционный совет

**Андреев
Николай Руфеевич**

д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-
исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего
сырья – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля
имени А. Г. Лорха», г. Москва, Россия

**Багиров
Вугар Алиевич**

д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации
деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук
Минобрнауки России, г. Москва, Россия

**Баталова Галина
Аркадьевна**

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной
работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Гурьянов Алек-
сандр Михайлович**

д.с.-х.н., профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

**Дёгтева Светлана
Владимировна**

д.б.н., чл.-корр. РАН, директор Института биологии Коми научного центра
УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

**Джавадов
Эдуард Джавадович**

д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры
эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государ-
ственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия

**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 «Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

**Иванов Дмитрий
Анатольевич**

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского
научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия

**Казакевич
Пётр Петрович**

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

**Косолапов Влади-
мир 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 «Нижегородская государ-
ственная сельскохозяйственная академия», 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-rf.ru
по подписному индексу 58391,
а также подписаться через
интернет-магазин «Пресса по
подписке» <https://www.akc.ru>

Электронная версия журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

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

www.agronauka-sv.ru

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Подписано к печати
11.08.2023

Дата выхода в свет
04.09.2023

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 21.62.

Тираж 100 экз. Заказ 21.

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

Пой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

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

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

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

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия
д.б.н., главный научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений
и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

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

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

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

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

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

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

профессор, научный руководитель 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, 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», г. Саранск, Республика Мордовия, 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 ресурсоведения 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,

Natalia A. Shemuranova, Cand. of Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

- | | |
|------------------------------|---|
| Nikolay R. Andreev | Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia |
| Vugar A. Bagirov | Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia |
| Galina A. Batalova | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia |
| Alexander M. Guryanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Director of Mordovia Agricultural Research Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia |
| Svetlana V. Degteva | Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia |
| Eduard D. Dzhavadov | Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia |
| 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 Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |
| Dmitriy A. Ivanov | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the All-Russian Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver, Russia |
| Petr P. Kazakevich | Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus |
| Vladimir M. Kosolapov | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the 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 the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |

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

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

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

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

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
11.08.2023

Date of publication
04.09.2023

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. 1. 21.62.
Circulation 100 copies. Order 21.
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. Sisyagin** Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Vera I. Titova** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Anton N. Tokarev** Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
- Eroma P. Urban** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus
- Yuriy A. Tsoy** Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
- Irina G. Shirokikh** Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Irina N. Shchennikova** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Changzhong Ren** President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China
- Semjons Ivanovs** Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
- Andrzej Marczuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland
- András Náhlik** The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary
- Kaisa Poutanen** Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
- Vaclav Romaniuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
- Li Yu** professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China

Editorial Board

- Aleksey V. Aleshkin** Dr. of Sci. (Engineering), professor, the Department of Mechanics and Engineering Drawing, Vyatka State University, Kirov, Russia
- Andrey A. Artemjev** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, leading researcher, head coordinate farming laboratory, principal director of scientific research, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Saransk, Republic of Mordovia, 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. Sheshgova** 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. В. Мосягин

Стимуляция иммунной системы липосомами с оротатом калия (обзор)..... 517

Т. Ю. Беспалова, А. А. Глазунова

Выявление серопозитивных кабанов в Евразии как признак возможного формирования эндемичных по африканской чуме свиней территорий (обзор)..... 527

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

О. С. Амунова, А. В. Мамаева

Поиск продуктивных, засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы для селекции в условиях Кировской области..... 538

Н. А. Набатова, Е. И. Уткина, Е. А. Псарева

Влияние погодных условий на изменчивость селекционно ценных признаков сортов озимой ржи в условиях Кировской области..... 549

Т. А. Рожмина, А. А. Янышина

Изменчивость содержания волокна в стеблях у различных сортов льна-долгунца..... 562

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

Новый раннеспелый сорт льна-долгунца Стриж для условий Северо-Запада России..... 572

Н. А. Орлянская, Н. А. Орлянский, Д. С. Чеботарёв

Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании..... 581

И. Д. Самсонова, В. Н. Саттаров, Р. А. Ильясов, А. А. Плахова

Динамика медовой продуктивности насаждений *Robinia pseudoacacia* L. степного Придонья..... 592

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Е. Л. Пашин, А. В. Орлов

Оценка делимости модифицированного льняного волокна для определения его качества..... 605

А. Ю. Шариков, М. В. Туршатов, М. В. Амелякина, А. О. Соловьев, И. М. Абрамова

Применение высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии..... 612

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Д. А. Иванов, Д. А. Соловьев, М. В. Рублюк, О. В. Карасева, Н. А. Хархардинов

Оценка пригодности заброшенных земель к возделыванию овса на основе прогнозирования его урожайности по данным долговременного мониторинга (на примере конкретного хозяйства)..... 623

А. А. Артемьев, А. М. Гурьянов

Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья..... 636

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ

Н. А. Ковтунова, Е. А. Шишова

Продуктивный и питательный потенциал суданской травы..... 646

О. А. Тимошкин, В. А. Тришина

Влияние способа посева и нормы высевы на формирование агроценоза и урожайность семян костреца безостого..... 656

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Е. В. Суханова, Н. А. Морозков, Л. В. Сычёва

Влияние скармливания разных доз фитодобавки из эспарцета песчаного на рост и обмен веществ в организме телят..... 664

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

П. П. Казакевич, Д. И. Комлач, А. Н. Юрин

Разработка системы технического зрения технологической линии сортировки плодов яблони на основе искусственной нейронной сети..... 672

А. И. Кутырёв, Р. А. Филиппов

Применение сверточной нейронной сети для мониторинга состояния земляники садовой..... 685

CONTENTS

REVIEWS

Vladimir V. Mosyagin

Stimulation of the immune system by liposomes with potassium orotate (review)..... 517

Tatiana Yu. Beshpalova, Anastasia A. Glazunova

Identification of seropositive wild boars in Eurasia as a sign of possible formation of African swine fever-endemic areas (review)..... 527

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

Oksana S. Amunova, Anastasiya V. Mamaeva

Search for productive, drought-resistant accessions of soft spring wheat for breeding in the conditions of Kirov region..... 538

Natalia A. Nabatova, Elena I. Utkina, Ekaterina A. Psareva

Influence of weather conditions on variability of breeding valuable characteristics of winter rye varieties in Kirov region..... 549

Tatiana A. Rozhmina, Antonina A. Yanyshina

Variability of fiber content in the stems of different varieties of fiber flax..... 562

Alexander D. Stepin, Mikhail N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina, Nadezhda V. Romanova

New early ripe variety of fiber flax Strizh for the conditions of the North-West of Russia..... 572

Natalya A. Orlyanskaya, Nikolay A. Orlyansky, Dmitry S. Chebotarev

Comparative indexing of early-maturing corn hybrids in multi-environment trial..... 581

Irina D. Samsonova, Vener N. Sattarov, Rustem A. Ilyasov, Alevtina A. Plahova

Dynamics of honey productivity of *Robinia pseudoacacia* L. stands of the steppe Don region..... 592

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Evgenij L. Pashin, Alexander V. Orlov

Estimating splitting capability of modified flax fiber during quality control..... 605

Anton Yu. Sharikov, Mikhail V. Turshatov, Maria V. Amelyakina, Alexander O. Solovyev, Irina M. Abramova

The use of high humidity disperse fraction of jerusalem artichoke developed by its processing into alcohol in the food extrusion technology..... 612

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Dmitry A. Ivanov, Dmitry A. Solovyov, Maria V. Rublyuk, Olga V. Karaseva, Nikita A. Kharhardinov

Assessment of suitability of abandoned lands for oats cultivation based on the forecast of the yield according to long-term monitoring data (the case of a specific farm)..... 623

Andrey A. Artemjev, Alexander M. Guryanov

Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region..... 636

FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

Natalia A. Kovtunova, Elena A. Shishova

Productive and nutritional potential of Sudan grass..... 646

Oleg A. Timoshkin, Varvara A. Trishina

Influence of the sowing method and seeding rate on the formation of agrocenosis and seed yield of awnless brome..... 656

FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

Elena V. Sukhanova, Nikolay A. Morozkov, Larisa V. Sycheva

The effect of feeding different doses of herbal supplements from Hungarian sainfoin on the growth and metabolism in the body of calves..... 664

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Petr P. Kazakevich, Dmitry I. Komlach, Anton N. Yurin

Development of a vision system for a technological line for sorting apple fruits based on an artificial neural network..... 672

Alexey I. Kutyrev, Rostislav A. Filippov

Application of convolutional neural network for monitoring the condition of strawberries..... 685

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.517-526>

УДК 619:571.27

Стимуляция иммунной системы липосомами с оротатом калия (обзор)

© 2023. В. В. Мосягин ✉

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», г. Курск, Российская Федерация

В обзорной статье проанализирован имеющийся мировой опыт получения липосом для адресной доставки лекарственного вещества – оротата калия в тканевые макрофаги для стимуляции иммунной системы. Подбор литературных источников осуществлялся на основе актуальности информации и глубины проведенных исследований. Установлено, что липосомы – наноконтейнеры, везикулы (пузырьки), образованные двухслойной липидной мембраной, во внутреннее пространство которых заключено действующее лекарственное вещество. Липосомы применяют в медицине, ветеринарии и косметологии для адресной доставки веществ в клетки мишени. Они могут быть получены конвекционным методом, а также методами озвучивания, растворения и удаления детергента, испарения с обращением фаз и другими. Поиск и анализ литературных источников и патентной базы показал, что широко используемыми методами получения липосом являются инъекционный и ручного встряхивания. Другим перспективным средством доставки активных компонентов являются ниосомы – везикулы на основе поверхностно-активного вещества. Для получения ниосом используют метод обработки растворов в ультразвуковом дезинтеграторе. В качестве активного вещества выбрано известное иммуностимулирующее средство – оротат калия. Клетками-мишенями для липосом являются тканевые макрофаги – начальное звено в иммунологической цепи. Они, в частности, выполняют антигенпрезентирующую функцию, выделяют ряд цитокинов и другие. Испытания препарата, содержащего липосомы с инкапсулированным оротатом калия, в опытах на крысах и свиньях показали его высокую регенерационную способность, антибактериальную активность и противовоспалительный эффект. На основании литературных данных предложена схема действия липосом с инкапсулированным оротатом калия.

Ключевые слова: макрофаги, фенотипы макрофагов, провоспалительные цитокины, противовоспалительные, иммуностимулятор, ниосомы, клетки-мишени

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (тема FGZU-2022-0004).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мосягин В. В. Стимуляция иммунной системы липосомами с оротатом калия (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):517-526. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.517-526>

Поступила: 14.04.2023

Принята к публикации: 17.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Stimulation of the immune system by liposomes with potassium orotate (review)

© 2023. Vladimir V. Mosyagin ✉

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russian Federation

The review article analyzes the existing world experience in obtaining liposomes for targeted delivery of a medicinal substance potassium orotate to tissue macrophages to stimulate the immune system. The selection of literary sources was carried out on the basis of the relevance of the information and the depth of the research. It has been established that liposomes are nanocontainers, vesicles (vacuoles) formed by a two-layer lipid membrane in the inner space of which the active medicinal substance is enclosed. Liposomes are used in medicine, veterinary medicine and cosmetology for targeted delivery of substances to target cells. They can be obtained by convection method as well as the method of voicing, the method of dissolution and removal of detergent, the method of evaporation with phase reversal, etc. The search and analysis of literature sources and patent database showed that injection method and manual shaking method are widely used methods of liposome production. Another promising means of delivering active components are niosomes – vesicles based on surface-active substance. To obtain niosomes, the method of processing solutions in an ultrasonic disintegrator is used. The well-known immunostimulating agent potassium orotate was chosen as the active substance. The target cells for liposomes are tissue macrophages as the initial link in the immunological chain. In particular, they perform an antigen-presenting function, secrete a number of cytokines, etc. Testing of a drug containing liposomes with encapsulated potassium orotate in experiments on rats

and pigs showed its high regenerative ability, antibacterial activity and anti-inflammatory effect. Based on the literature data, a scheme of action of liposomes with encapsulated potassium orotate is proposed.

Keywords: macrophages, macrophage phenotypes, pro-inflammatory cytokines, anti-inflammatory, immunostimulator, liposomes, target cells

Acknowledgements: the work was carried out with 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 FGZU-2022-0004).

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

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

For citation: Mosyagin V. V. Stimulation of the immune system by liposomes with potassium orotate (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):517-526. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.517-526>

Received: 14.03.2023

Accepted for publication: 17.07.2023

Published online: 30.08.2023

В настоящее время в медицине, ветеринарии и косметологии происходит качественный переход к инновационным средствам и препаратам, для профилактики болезней, коррекции состояния иммунитета и в других ситуациях [1]. Особое внимание уделяется созданию современных препаратов с направленной доставкой действующих веществ непосредственно в клетку-мишень [2].

Традиционно для устранения механических повреждений целостности тканей, например кожи, и восстановления их целостности применяют различные препараты, в первую очередь противомикробные (антибиотики, антисептики, в частности офлоксацин, мирамистин и др.) [3, 4] и препараты, усиливающие регенерацию, например, солкосерил (стандартизированный экстракт плазмы крови молодых телят), оротат магния, оротат калия [5, 6, 7], метилурацил [8]. Применение антибиотиков и антисептиков приводит к уничтожению микробов, что устраняет стимулы для иммунной системы [9].

Однако в естественных условиях существования организмов, особенно при болезнях, происходит контакт организма животного с микроорганизмами и вирусами, которые являются очень сильными иммуностимуляторами [10, 11]. Они запускают механизмы иммунитета, направленные не только на удаление генетически чужеродных субстанций, но и на регенерацию поврежденных тканей.

Цель обзора – обобщить актуальные научные данные по использованию липосом в медицине, ветеринарии и косметологии, проанализировать литературные сведения по методам получения липосом, их взаимодействию с клетками-мишенями. Выяснить роль тканевых макрофагов в развитии воспалительного процесса, особенности их активации в различные фенотипы, связь с другими элементами иммунной системы и выделяемыми ими специфическими белками – цитокинами.

Материал и методы. Материалом для исследования служили научные публикации отечественных и зарубежных авторов, база данных патентов РФ, посвященных изучению возможности использования липосом в медицине, ветеринарии и косметологии, способов получения липосом и их взаимодействие с клетками, основным клеткам-мишеням, путям активации макрофагов, выделению цитокинов, участию макрофагов в иммунных реакциях. Поиск научных источников осуществляли в базах данных e-Library, Cyberleninka, PubMed, NCBI, ResearchGate, CABI, Google Scholar. В поисковых запросах были использованы следующие основные комбинации ключевых слов: липосомы; методы получения липосом; оротат калия; активация макрофагов; провоспалительные и противовоспалительные цитокины; иммунитет; стимуляторы иммунитета. Глубина поиска составляла 30 лет.

Литературные источники были включены в обзор по следующим критериям: актуальность, детальное описание методологии работы, наличие раздела «Обсуждение полученных результатов» с другими авторами.

Основная часть. Цитокины и цитокиновая сеть. Реализация многих защитных механизмов напрямую связана с цитокинами – особыми белками-регуляторами иммунной системы [12]. В настоящее время цитокины и цитокиновую сеть выделяют в особую систему регуляции функций в организме, наряду с нервной и эндокринной системами.

Цитокины выделяются всеми клетками организма, но особенно клетками иммунной системы [13, 14].

Роль макрофагов в иммунном ответе. Ведущая роль в иммунном ответе принадлежит макрофагам. Макрофаги различных фенотипов выполняют в организме защитные функции – уничтожение микроорганизмов, синтез цитокинов и другие [15].

Липосомы и их взаимодействие с клетками. Для направленной доставки действующих веществ в клетки тканей и органов используются липосомы. Липосома (греч. lípos – жир и soma – тело) – это искусственно получаемые, замкнутые сферические частицы, образованные бимолекулярными липидными слоями, в про-

странстве между которыми содержится среда формирования (рис. 1). Липосомы называют также микрокапсулы, нанокапсулы или наноконтейнеры. Они имеют определенное сходство с мембранами клеток и полностью биодegradуемы [16].

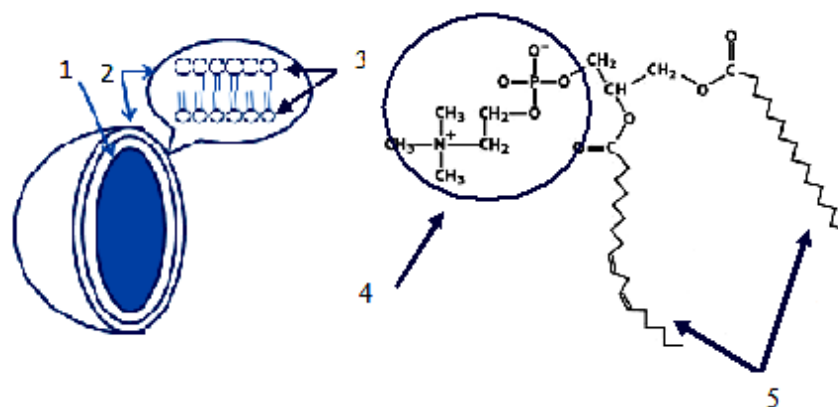


Рис. 1. Липосома в разрезе с инкапсулированным лекарственным веществом: 1 – инкапсулированное вещество; 2 – фосфолипидный бислой; 3 – молекулы фосфолипида; 4 – полярная головка; 5 – неполярные «хвосты» фосфатидилхолина /

Fig. 1. Liposome in section with encapsulated drug substance: 1 – encapsulated substance; 2 – lipid bilayer; 3 – phospholipid molecules; 4 – polar head; 5 – nonpolar phosphatidylcholine "needles"

Отмечено, что применение липосомальных форм лекарственных средств существенно расширяет возможности фармакотерапии [17]. Например, действующее вещество защищено липидной мембраной от действия ферментов организма.

Установлено, что липосомы взаимодействуют с клеткой путем поглощения или

эндоцитоза (рис. 2) [17, 18]. Кроме этого, некоторые клетки организма, в том числе макрофаги, имеют специальные рецепторы (SR) для захвата «мусора» [19], к которому относят окисленные липопротеины низкой плотности, ацетилированные ЛПНП, старые клетки, эритроциты и т. п.

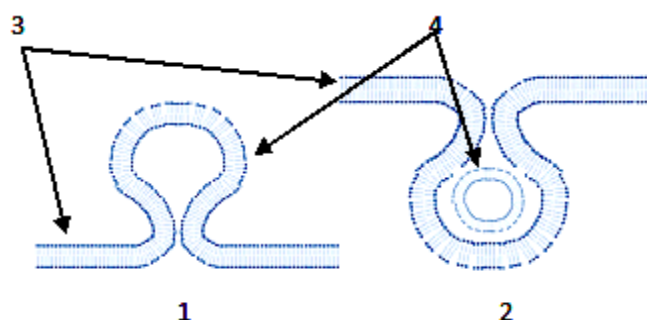


Рис. 2. Взаимодействие липосом с клеткой:

1 – слияние мембран; 2 – эндоцитоз (поглощение); 3 – цитоплазматическая мембрана; 4 – липосома /
Fig. 2. Interaction of liposomes with the cell:
1 – membrane fusion; 2 – endocytosis (absorption);
3 – cytoplasmic membrane; 4 – liposome

Включение труднорастворимых действующих веществ в липосомальные везикулы позволяет повысить его биодоступность [20, 21]. Это особенно актуально для оротата калия.

Методы получения липосом. В настоящее время существует большое количество методов получения липосом и загрузки в них лекарственных препаратов (конвекционный, озвучивания, растворения и удаления детер-

гента, испарения с обращением фаз и др.). Все существующие методы получения липосом можно разделить на две большие группы: восходящие (формирование малых везикул из отдельных фосфолипидов) [22, 23]; нисходящие (получение липосом большого размера и их уменьшение) [23, 24, 25].

Поиск и анализ литературных источников и патентной базы показал, что широко

используемыми методами получения липосом являются инъекционный и ручного встряхивания [26].

Инъекционный метод заключается во впрыскивании под большим давлением через малое отверстие органического раствора фосфолипидов в водный раствор лекарственного вещества. Липосомы с инкапсулированным оротатом калия были получены инъекционным методом. Для этого спиртовой раствор лецитина инжигировали в насыщенный водный раствор оротата калия с помощью специально разработанного устройства [27, 28].

Перспективной технологией получения липосом является метод ручного встряхивания, заключающийся в том, что сборка липосом осуществляется смешиванием водной фазы, включающей инкапсулируемое вещество, и неводной – органический раствор фосфолипидов [29].

При некоторых способах получения липосом в их состав включают люминесцент-

ные красители, по наличию которых судят о доставке действующих веществ в адресные клетки [30].

Важным этапом создания липосомальных препаратов для парентерального введения является их стерилизация. Мембраны липосом, содержащие фосфолипиды, холестерол и жирные кислоты, подвержены перекисному окислению и гидролизу, термолабильны. В связи с этим стерилизацию везикул проводят фильтрацией через мембранные фильтры с диаметром пор 1,2-0,22 мкм [31, 32].

Некоторые авторы допускают возможность тепловой стерилизации липосом при наличии в их составе мембран насыщенных жирных кислот и стабилизаторов, например сульфит натрия [33, 34].

Перспективным средством доставки активных компонентов являются ниосомы [35, 36] – везикулы, оболочка которых состоит из амфифильного поверхностно-активного вещества (ПАВ) (рис. 3).

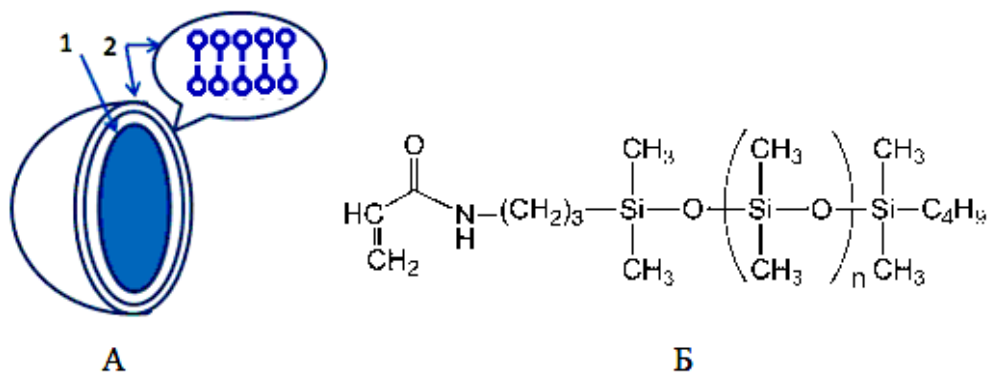


Рис. 3. А – Ниосома в разрезе с инкапсулированным лекарственным веществом: 1 – бислоем одноцепочечной ПАВ; 2 – инкапсулированное вещество; Б – Monomethacryloxypropyl terminated polydimethylsiloxane | Gelest

Fig. 3. A – Niosome in section with encapsulated medicinal substance: 1 – bilayer of a single-stranded surfactant; 2 – encapsulated substance; B – Monomethacryloxypropyl terminated polydimethylsiloxane | Gelest

Основное отличие между ниосомами и липосомами заключается в том, что оболочка ниосомы содержит холестерин и ПАВ с гидрофобной цепочкой вместо фосфолипидов. Ниосомы не подвержены окислительной деградации и более стабильны. В настоящее время они являются более простыми и дешевыми носителями активных веществ.

Одним из методов получения ниосом является обработка смесей неводного и водного растворов на ультразвуковом дезинтеграторе [36].

Клетки-мишени липосом. При внутривенном введении липосомы быстро фагоцитируются макрофагами, дендритными клетками, клетками Купфера печени и другими. [37]. Для

предотвращения этого в онкологии предложен метод обработки липосом полиэтиленгликолем [38]. В результате во много раз увеличивается время циркулирования липосом в кровотоке [39, 40]. Таким образом, одними из основных клеток-мишеней липосом являются макрофаги [41], которые в организме выполняют антигенпрезентирующую функцию [42]. Они инициируют иммунный ответ при внедрении в организм чужеродного агента, за счет выделения цитокинов и медиаторов воспаления. При этом они активируются различными путями, в зависимости от силы активации и микроокружения (наличия в среде тех или иных цитокинов и др.). В зависимости от пути активации

выделяют фенотипы M1 и M2. Но, в настоящее время они считаются условными ввиду пластичности макрофагального фенотипа [14].

Полагается, что M1-фенотип «провоспалительный», M2 – «противовоспалительный». Установлено, что макрофаги M1-фенотипа продуцируют цитокины IL-12, IL-18, IL-1 β , TNF α , активные формы кислорода и оксид азота, за счет чего проявляют бактерицидную активность. Макрофаги M2-фенотипа – IL-10, IL-13, TGF- β , оказывающие регулирующее воздействие на процесс воспаления, ремоделирование и репарацию поврежденных тканей, ангиогенез и опухолевый рост [43]. Кроме этого, макрофаги фенотипа M1 участвуют в формировании лимфоцитов Th1, макрофаги M2 – Th2. Разделение лимфоцитов на Th1 и Th2 основано на изучении секретируемых ими цитокинов. После этого цитокины Th1 могут усиливать программирование M1, цитокины Th2 – фенотипов M2 [44].

Выделяемые макрофагами и лимфоцитами цитокины оказывают определенное биологическое действие, в частности регуляцию дифференцировки Т-лимфоцитов хелперов, стимуляцию пролиферации и дифференцировки различных типов клеток-предшественников в костном мозге и другие. По этому действию можно сделать заключение о типе активации

макрофагов и преимущественно выделяемых цитокинов.

Производные пиримидиновых оснований, например оротат калия [7] и метилурацил [45], являются известными иммуностимуляторами. Оротовая кислота (урацил-6-карбоновая кислота) – природное соединение, содержащееся в молоке и молозиве животных. Установлено, что соль оротовой кислоты – оротат калия – стимулирует биосинтез коллагена в организме [6]. Действие оротата калия основано на стимуляции обмена нуклеиновых кислот и синтеза белков.

Оротовая кислота синтезируется в организме и входит в состав всех клеток. Ее соли – оротаты (например, оротат калия) имеют очень низкую растворимость, содержание в молоке составляет 2-10 мг%, или 20-100 мг/л [46]. Включение труднорастворимых действующих веществ в липосомальные везикулы позволяет повысить их биодоступность [47].

Липосомальный иммуностимулятор. Применение препарата, содержащего липосомы с инкапсулированным оротатом калия, в опытах на крысах и свиньях показали его высокую регенерационную способность, антибактериальную активность и противовоспалительный эффект [26, 27].

На основании литературных данных, нами предложена схема действия липосом с инкапсулированным оротатом калия (рис. 4).

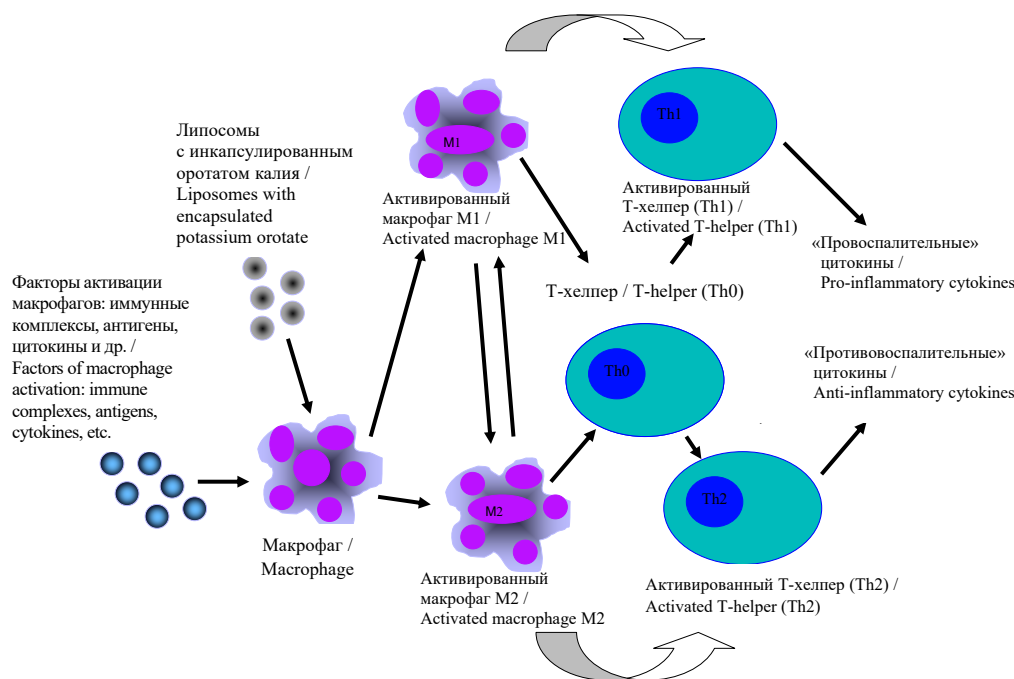


Рис. 4. Механизм действия липосом с оротатом калия /

Fig. 4. Mechanism of action of liposomes with potassium orotate

Закключение. На основании анализа данных литературы, установлено, что липосомы могут активировать макрофаги и выработку ими специфических цитокинов. Возможно, что липосомы с инкапсулированным оротатом калия

могут стимулировать иммунную систему, активировать выработку провоспалительных и противовоспалительных цитокинов, влияющих на иммунологические процессы и регенерацию тканей в организме животных.

Список литературы

1. Белоусов Ю. Б. Инновационные лекарственные препараты в реальной клинической практике. Российский кардиологический журнал. 2006;11(S):38-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13046421> EDN: KZMWKF
2. Каплун А. П. Нанофармацевтика – фармацевтика будущего. Нанотехнологии и охрана здоровья. 2009;3(1):22-27. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13291250> EDN: LEWEDF
3. Якубина М. В. Исследование по разработке состава и экстемпоральной технологии ранозаживляющей мази с антибиотиком доксициклином. Студенческая наука и медицина XXI века: традиции, инновации и приоритеты: сб. тез. конф. Самара: ООО «Офорт», 2020. С. 280-281. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44245822> EDN: PFVUXH
4. Журба В. А., Ковалев И. А. Клинические испытания опытных образцов изделия «Антисептические нетканые материалы на основе биodeградируемых пористых нановолокон». Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019;(2):148-152. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38246151> EDN: QJMUEJ
5. Филатова А. В., Тураев А. С., Выпова Н. Л., Азимова Л. Б., Джарабаев Д. Т., Худойназаров И. А. Исследование ранозаживляющих свойств гидрофильного геля. Universum: химия и биология. 2020;(3-1(69)):33-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42557034> EDN: TSVFFR
6. 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 герниоимплантата 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
7. Нагиев Э. Р., Нагиева С. Э., Исмаилова Ф. Э. Исследование содержания уридиловых 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
8. Белоусова Т. А. Фармакологические свойства метилурацила (Обзор литературы). В сб.: Ретиноиды. М.: ЗАО «Ретиноиды», 2009. С. 11-43. Режим доступа: <https://retinoids.ru/pub/articles/farmakologicheskie-svoistva-metiluratsila?print>
9. Артемьев Д. А., Красников А. В., Красникова Е. С., Козлов С. В. Особенности механизма иммунной системы крупного рогатого скота (обзор литературы). Научная жизнь. 2019;14(6): 975-982. DOI: <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2019-14-6-975-982> EDN: OPDSBT
10. Иммунотерапия: руководство для врачей. Под ред. Р. М. Хаитова, Р. И. Атауллаханова, А. Е. Шульженко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 768 с. Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970453728.html>
11. Железникова Г. Ф. Механизмы взаимодействия возбудителя инфекции и иммунной системы хозяина. Инфекционные болезни. 2006;4(3):69-77. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9535525> EDN: IARIBP
12. Симбирцев А. С. Цитокины: классификация и биологические функции. Цитокины и воспаление. 2004;(2):16-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9124580> EDN: HRRMZV
13. Радаева О. А., Костина Ю. А., Еремеев В. В., Искандарова М. С., Солодовникова Г. А. Цитокины как потенциальная мишень иммунотерапии артериальной гипертензии и вторичных сердечно-сосудистых осложнений. Современные проблемы науки и образования. 2021;(3):191. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.30941> EDN: PFDDGC
14. Каштальян О. А., Ушакова Л. Ю. Цитокины как универсальная система регуляции. Медицинские новости. 2017(9):3-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053928> EDN: ZHRKTB
15. 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
16. Дудниченко А. С., Краснопольский Ю. М., Швец В. И. Липосомальные лекарственные препараты в эксперименте и клинике. Харьков: Каравелла, 2001. 143 с.
17. Wissing S. A., Kayser O., Muller R. H. Adv Drug Deliv Rev. 2004;56:1257-1272. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2003.12.002>
18. Mandal M., Mathew E., Provoda C., Dall-Lee K. Delivery of macromolecules into cytosol using liposomes containing hemolysin. Methods Enzymol. 2003;(378):319-339.

19. Гусев Е. Ю., Зотова Н. В., Журавлева Ю. А., Черешнев В. А. Физиологическая и патогенетическая роль рецепторов-мусорщиков у человека. Медицинская иммунология. 2020;22(1):7-48. DOI: <https://doi.org/10.15789/1563-0625-PAP-1893> EDN: QDCQCU
20. 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 ESEManalysis of stability. International Journal of Pharmaceutics. 2004;285(1-2):23-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2004.07.010>
21. Wang C. X., Li C. L., Zhao X., Yang H. Y., Wei N., Li Y. H., Zhang L., Zhang L. Pharmacodynamics, pharmacokinetics and tissue distribution of liposomal mitoxantrone hydrochloride. Yao Xue Xue Bao. 2010;45(12):1565-1569. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21351498/>
22. Новикова А. А., Кезимана П., Станишевский Я. М. Методы получения липосом, используемых в качестве носителей лекарственных средств (обзор). Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017;(2):134-138. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34994629> EDN: XOQJQD
23. Дмитриева М. В., Тимофеева Т. А., Оборотова Н. А., Краснюк И. И., Степанова О. И. Характеристика и оценка стабильности липосомальных препаратов. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2018;(3):36-44. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35538460> EDN: OYVYLF
24. Crites T. J., Maddox M., Padhan K., Muller J., Eigsti C., Varma R. Supported Lipid Bilayer Technology for the Study of Cellular Interfaces. Current Protocols in Cell Biology. 2015;(68):24.5.1-25.5.31. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471143030.cb2405s68>
25. Королёва А. И., Безруков Д. А., Михайлова Н. А., Каплун А. П., Швеи В. И. Способ получения липосом: пат. №2325150 Российская Федерация. № 2007114164/15: заявл. 17.04.2007; опубл. 27.05.2008. Бюл. №15. 5 с.
26. 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: заявл. 17.01.2019; опубл. 16.08.2019. Бюл. №23. 8 с.
27. Мосягин В. В., Рыжкова Г. Ф. Влияние геля с липосомами с инкапсулированным оротатом калия на процессы регенерации кожи у животных. Ветеринария и кормление. 2022;(1):33-36. DOI: <https://doi.org/10.30917/att-vk-1814-9588-2022-1-7> EDN: ZHFXRI
28. Анталь Й., Вайда З., Такатши Ж., Надь Б. Способ двухфазного получения липосом и способы их применений при изготовлении диагностических реагентов: пат. №2567746 Российская Федерация. №2012157015/10: заявл. 28.05.2010; опубл. 10.11.2015. Бюл. №31. 25 с.
29. Таскаев С. Ю., Каньгин В. В., Мухамадияров Р. А., Кичигин А. И. Способ доставки борсодержащих препаратов для бор-нейтронозахватной терапии: пат. №2589822 Российская Федерация. №2014148670/15: заявл. 02.12.2014; опубл. 10.07.2016. Бюл. № 19. 17 с.
30. Ламажапова Г. П., Жамсаранова С. Д. Влияние липосом из жира байкальской нерпы на активность макрофагов. Успехи современного естествознания. 2003;(6):63-64. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14466&ysclid=lgeu15n0zp552344627>
31. Qi N., Tang X., Lin X., Gu P., Cai C., Xu H., He H., Zhang Yu. Sterilization stability of vesicular phospholipid gels loaded with cytarabine for brain implant. International Journal of Pharmaceutics. 2012;427(2):234-241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.02.008>
32. Гулякин И. Д., Краснюк И. И. (мл.), Краснюк И. И., Беляцкая А. В., Степанова О. И., Плахотная О. Н., Жукова А. А., Григорьева В. Ю., Мазяркин Е. В., Tianlong Li. Создание липосомальной лекарственной формы нового отечественного противоопухолевого препарата ЛХС-1208. Advances in Science and Technology: сб. ст. XXIX международ. научн.-практ. конф. М.: Изд-во ООО "Актуальность. РФ", 2020. Часть I. С. 57-59. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43783018_85876748.pdf
33. Тазина Е. В., Полозкова А. П., Игнатьева Е. В. Стерилизующая фильтрация термолипосомальной дисперсии с доксорубицином. Отечественные противоопухолевые препараты: мат-лы IX Всеросс. научн.-практ. конф. Нижний Новгород, 2010. С. 90-91.
34. Гаврилов С. Г. Трансдермальные системы доставки местных средств: новые перспективы. Лечебное дело. 2021;(2):25-32. DOI: <https://doi.org/10.24412/2071-5315-2021-12328> EDN: JIAKV
35. Базиков И. А., Омелянчук П. А. Система доставки биологически активных веществ с помощью ниосом: пат. №2320323 Российская Федерация. № 2006128323/15: заявл. 03.08.2006; опубл. 27.03.2008. Бюл. №9. 6 с.
36. Поздеев А. В., Щербаков Н. П., Вагин К. Н., Низамов Р. Н. Методика получения липосомальных систем доставки лекарственных веществ в организм животных. Ветеринарный врач. 2021;(3):33-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46171438> EDN: TZDGHV
37. Круглякова А. А. Особенности фармакокинетики липосомальных препаратов. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2012;(1):37-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18911055> EDN: PXVPIR
38. Саквина О. И., Барышников А. Ю. Липосомы в направленной доставке противоопухолевых препаратов. Российский биотерапевтический журнал. 2008;7(4):80-85. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13035323> EDN: KZGOFT

39. Huang Z., Szoka F. C. Jr. Bioresponsive liposomes and their use for macromolecular delivery. In: Gregoriadis G., ed. Liposome technology. Boca Raton, Florida: CRC Press. 2006;2:165-196.
40. Schiffelers R. M., Koning G. A., Hagen T., Fens M. H. A. M., Schraa A. J., Janssen A. P. C. A., Kok R. J., Molema G., Storm G. Anti-tumor efficacy of tumor vasculature-targeted liposomal doxorubicin. *Journal of Controlled Release*. 2003;91(1-2):115-122. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(03\)00240-2](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(03)00240-2)
41. Гордова В. С., Дьячкова И. М. Антигенпрезентирующие клетки лимфоидных органов. Вестник Чувашского университета. 2014;(2):217-224. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21815581> EDN: SJKDSB
42. Лямина С. В., Малышев И. Ю. Поляризация макрофагов в современной концепции формирования иммунного ответа. *Фундаментальные исследования*. 2014;(10-5):930-935. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22564527> EDN: SZUGUF
43. Лямина С. В., Круглов С. В., Веденикин Т. Ю., Малышев И. Ю. Новая стратегия управления иммунным ответом при заболеваниях легких – роль сурфактантного белка d как бивалентного фактора репрограммирования макрофагов. *Фундаментальные исследования*. 2011;(1):90-97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15548207> EDN: NCGHBP
44. Mosmann T., Cherwinski H., Bond M., Giedlin M., Coffman R. Two types of murine helper T cell clone. 1. Definition according to profiles of lymphokine activities and secreted proteins. *Journal of Immunology*. 1986;136(7):2348-2357. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2419430/>
45. 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?id=39207230> EDN: TMLUNM
46. Шидловская В. П. Небелковые азотистые вещества и их роль в оценке качества молока. *Молочная промышленность*. 2008;(3):48-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13793851> EDN: LPWDBH
47. 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>

References

1. Belousov Yu. B. Innovative drugs in real clinical practice. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal* = Russian Journal of Cardiology. 2006;11(S):38-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13046421>
2. Kaplun A. P. Nanopharmaceuticals are pharmaceuticals of the future. *Nanotekhnologii i okhrana zdorov'ya*. 2009;3(1):22-27. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13291250>
3. Yakubina M. V. Research on the development of the composition and extemporaneous technology of a wound healing ointment with the antibiotic doxycycline. Student science and medicine of the XXI century: traditions, innovations and priorities: Sat. abstract conf. Samara: ООО «Ofort», 2020. pp. 280-281. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44245822>
4. Zhurba V. A., Kovalev I. A. Clinical trials of prototype products "Antiseptic non-woven materials based on biodegradable porous nanofibers". *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2019;(2):148-152. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38246151>
5. Filatova A. V., Turaev A. S., Vypova N. L., Azimova L. B., Djyabaev D. T., Khudoynazarov I. A. The study of wound-healing properties of the gidrofilic gel. *Universum: khimiya i biologiya*. 2020;(3-1(69)):33-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42557034>
6. 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>
7. 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 perforan. *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
8. Belousova T. A. Pharmacological properties of methyluracil (Literature review). In: Retinoids. Moscow: ZAO «Retinoidy», 2009. pp. 11-43. URL: <https://retinoids.ru/pub/articles/farmakologicheskie-svoystva-metiluratsila?print>
9. Artemyev D. A., Krasnikov A. V., Krasnikova E. S., Kozlov S. V. Features of cattle immune system mechanism (research digest). *Nauchnaya zhizn'*. 2019;14(6): 975-982. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2019-14-6-975-982>
10. Immunotherapy: a guide for physicians. *Pod red. R. M. Khaitova, R. I. Ataullakhanova, A. E. Shul'zhenko*. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. 768 p. URL: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970453728.html>

11. Zheleznikova G. F. Ways of interaction between pathogens and host immune system. *Infektsionnye bolezni* = Infectious diseases. 2006;4(3):69-77. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9535525>
12. Simbirtsev A. S. Cytokines - classification and biologic functions. *Tsitokiny i vospalenie* = Cytokines and Inflammation. 2004;(2):16-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9124580>
13. Radaeva O. A., Kostina Yu. A., Ereemeev V. V., Iskandaryarova M. S., Solodovnikova G. A. Cytokines as a potential target for immunotherapy of arterial hypertension and secondary cardiovascular complications. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2021;(3):191. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.30941>
14. Kashtalyan O. A., Ushakova L. Yu. Cytokines as universal regulation system. *Meditsinskie novosti*. 2017(9):3-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053928>
15. 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 farmakologicheskii vestnik* = Bulletin of veterinary pharmacology. 2019;(2(7)):29-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2019.2.29>
16. Dudnichenko A. S., Krasnopol'skiy Yu. M., Shvets V. I. Liposomal drugs in experiment and clinic. Khar'kov: Karavella, 2001. 143 p.
17. Wissing S. A., Kayser O., Muller R. H. Adv Drug Deliv Rev. 2004;56:1257-1272. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2003.12.002>
18. Mandal M., Mathew E., Provoda C., Dall-Lee K. Delivery of macromolecules into cytosol using liposomes containing hemolisin. *Methods Enzymol*. 2003;(378):319-339.
19. Gusev E. Yu., Zotova N. V., Zhuravleva Yu. A., Chereshev V. A. Physiological and pathogenic role of scavenger receptors in humans. *Meditsinskaya immunologiya* = Medical Immunology (Russia). 2020;22(1):7-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15789/1563-0625-PAP-1893>
20. 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>
21. Wang C. X., Li C. L., Zhao X., Yang H. Y., Wei N., Li Y. H., Zhang L., Zhang L. Pharmacodynamics, pharmacokinetics and tissue distribution of liposomal mitoxantrone hydrochloride. *Yao Xue Xue Bao*. 2010;45(12):1565-1569. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21351498/>
22. Novikova A. A., Kezimana P., Stanishevskiy Ya. M. Methods of obtaining liposomes, used as drug delivery systems (review). *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* = Drug development & registration. 2017;(2):134-138. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34994629>
23. Dmitrieva M. V., Timofeeva T. A., Oborotova N. A., Krasnyuk I. I., Stepanova O. I. Characteristics and stability assessment of liposomal preparations. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* = Drug development & registration. 2018;(3):36-44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35538460>
24. Crites T. J., Maddox M., Padhan K., Muller J., Eigsti C., Varma R. Supported Lipid Bilayer Technology for the Study of Cellular Interfaces. *Current Protocols in Cell Biology*. 2015;(68):24.5.1-25.5.31. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471143030.cb2405s68>
25. Koroleva A. I., Bezrukov D. A., Mikhaylova N. A., Kaplun A. P., Shvets V. I. Method for obtaining liposomes: patent RF no. 2325150. 2008.
26. Mosyagin V. V., Ryzhkova G. F., Sorokina Yu. E., Zernova A. V. Wound healing gel with liposomes and method for its production: patent RF no. 2697669. 2019.
27. Mosyagin V. V., Ryzhkova G. F. The effect of gel with liposomes containing encapsulated potassium orotate on skin regeneration processes in animals. *Veterinariya i kormlenie*. 2022;(1):33-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30917/att-vk-1814-9588-2022-1-7>
28. Antal' Y., Vayda Z., Takatshi Zh., Nad' B. Method for biphasic production of liposomes and methods for their use in the manufacture of diagnostic reagents: patent RF no. 2567746. 2015.
29. Taskaev S. Yu., Kanygin V. V., Mukhamadiyarov R. A., Kichigin A. I. Delivery method for boron-containing preparations for boron neutron capture therapy: patent RF no. 2589822. 2016.
30. Lamazhapova G. P., Zhamsaranova S. D. The effect of liposomes from the fat of the Baikal seal on the activity of macrophages. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2003;(6):63-64. (In Russ.). URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14466&ysclid=Igeu15n0zp552344627>
31. Qi N., Tang X., Lin X., Gu P., Cai C., Xu H., He H., Zhang Yu. Sterilization stability of vesicular phospholipid gels loaded with cytarabine for brain implant. *International Journal of Pharmaceutics*. 2012;427(2):234-241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.02.008>
32. Gulyakin I. D., Krasnyuk I. I. (jr.), Krasnyuk I. I., Belyatskaya A. V., Stepanova O. I., Plahotnaya O. N., Zhukova A. A., Grigoryeva V. Yu., Mazyarkin E. V., Tianlong Li. Creation of a liposomal dosage form of the new domestic antitumor drug LXS-1208. *Advances in Science and Technology: Sat. Art. XXIX international scientific-practical conf. Moscow: Izd-vo OOO "Aktual'nost'. RF", 2020. Part I. pp. 57-59.* URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43783018_85876748.pdf

33. Tazina E. V., Polozkova A. P., Ignateva E. V. Sterilizing filtration of thermoliposomal dispersion with doxo-rubicin. Domestic anticancer drugs: materials of the IX All-Russian. scientific-practical conf. Nizhny Novgorod, 2010. pp. 90-91.
34. Gavrilov S. G. Transdermal drug delivery systems: new perspectives. *Lechebnoe delo*. 2021;(2):25-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2071-5315-2021-12328>
35. Bazikov I. A., Omelyanchuk P. A. System for the delivery of biologically active substances using niosomes: patent RF no.2320323. 2008.
36. Pozdeev A. V., Shcherbakov N. P., Vagin K. N., Nizamov R. N. Method of obtaining liposomal systems of delivery of medicines to animals. *Veterinarnyy vrach*. 2021;(3):33-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46171438>
37. Kruglyakova A. A. Features of the pharmacokinetics of liposomal drugs. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* = Drug development & registration. 2012;(1):37-40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18911055>
38. Sakvina O. I., Baryshnikov A. Yu. The potential of drug-carrying immunoliposomes as anticancer agents. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal* = Russian Journal of Biotherapy. 2008;7(4):80-85. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13035323>
39. Huang Z., Szoka F. C. Jr. Bioresponsive liposomes and their use for macromolecular delivery. In: Gregoriadis G., ed. *Liposome technology*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 2006;2:165-196.
40. Schiffelers R. M., Koning G. A., Hagen T., Fens M. H. A. M., Schraa A. J., Janssen A. P. C. A., Kok R. J., Molema G., Storm G. Anti-tumor efficacy of tumor vasculature-targeted liposomal doxorubicin. *Journal of Controlled Release*. 2003;91(1-2):115-122. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(03\)00240-2](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(03)00240-2)
41. Gordova V. S., Djachkova I. M. Antigen-presenting cells of lymphoid organs. *Vestnik Chuvashskogo universiteta* = Bulletin of the Chuvash University. 2014;(2):217-224. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21815581>
42. Lyamina S. V., Malyshev I. Yu. Macrophage polarization in the modern concept of immune response development. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2014;(10-5):930-935. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22564527>
43. Lyamina S. V., Kruglov S. V., Vedenikin T. Yu., Malyshev I. Yu. New strategy of immune response management in pulmonary diseases – role of surfactant protein d as bivalent macrophages reprogramming factor. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2011;(1):90-97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15548207>
44. Mosmann T., Cherwinski H., Bond M., Giedlin M., Coffman R. Two types of murine helper T cell clone. 1. Definition according to profiles of lymphokine activities and secreted proteins. *Journal of Immunology*. 1986;136(7):2348-2357. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2419430/>
45. Evdokimenko P. V. Methyluracil – a forgotten indigenous medicine. Current problems of ecological prevention and the ways of solving the problems: Proceedings of All-Russian scientific and practical Conference. *Pod obshch. red. D. V. Vorobeva, N. V. Timushkinoy*. Saratov: izd-vo «Saratovskiy istochnik», 2019. pp. 77-79. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39207230>
46. Shidlovskaya V. P. Nonprotein nitrogenous substances and their role in milk quality determination. *Molochnaya promyshlennost'* = Dairy Industry. 2008;(3):48-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13793851>
47. 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>

Сведения об авторе

✉ **Мосягин Владимир Владимирович**, доктор биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории ветеринарной медицины и биотехнологии ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 70 б, ул. К. 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

Information about the author

✉ **Vladimir V. Mosyagin**, DSc in Biological science, senior researcher, the Laboratory of Veterinary Medicine and Biotechnology, 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

✉ – Для контактов / Corresponding author

Выявление серопозитивных кабанов в Евразии как признак возможного формирования эндемичных по африканской чуме свиней территорий (обзор)

© 2023. Т. Ю. Беспалова[✉], А. А. Глазунова

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

Продолжающееся распространение африканской чумы свиней (АЧС) на территории Евразии остается глобальной проблемой для мирового свиноводства. Болезнь характеризуется высокой смертностью (до 100 %) и острым течением – домашние и дикие животные гибнут в течение первых двух недель после заражения. Однако мониторинговые исследования на АЧС в Восточной Европе показали регулярное выявление серопозитивных восприимчивых животных, особенно среди популяций дикого кабана, что могло указывать на хроническую, бессимптомную инфекцию и даже выживание отдельных особей. При этом персистенция вируса в популяции кабанов создает постоянные риски возникновения sporadic outbreaks АЧС на зараженных территориях, а инфекция может приобрести эндемичный характер. Целью исследования являлся систематический обзор доступных данных по серопревалентности среди диких кабанов в отношении возможного установления эндемичности АЧС в Евразии. Отмечено изменение динамики заболевания у этих животных, которое проявляется самоподдерживающимися циклами инфекции. Серопозитивных диких кабанов выявляют в странах Прибалтики, Венгрии, Польше, Румынии, Словакии, России. Показатели серопревалентности среди отстрелянных кабанов в зараженных АЧС районах европейских стран варьируют от 0,3 до 3,8 %. В странах Прибалтики количество серопозитивных образцов от кабанов превышает количество образцов, положительных на вирус АЧС в полимеразной цепной реакции (ПЦР). Подобная тенденция сохраняется в тех регионах, где вирус АЧС присутствует в течение длительного времени, что может указывать на эндемичный характер АЧС. В Российской Федерации в дикой природе АЧС-эндемичных территорий пока не регистрировали, хотя с 2013 года в некоторых регионах отмечали единичные случаи обнаружения серопозитивных кабанов. В дальнейшем для понимания динамики заболевания в дикой фауне необходимо проводить комплексную диагностику вируса АЧС и специфических антител в образцах кабанов, что в итоге позволит выбрать правильную стратегию борьбы против АЧС.

Ключевые слова: вирус АЧС, антитела, серопревалентность, хронический, персистентный, выживший, вирулентность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (тема № FGNM-2022-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Беспалова Т. Ю., Глазунова А. А. Выявление серопозитивных кабанов в Евразии как признак возможного формирования эндемичных по африканской чуме свиней территорий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):527-537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.527-537>

Поступила: 20.03.2023

Принята к публикации: 19.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Identification of seropositive wild boars in Eurasia as a sign of possible formation of African swine fever-endemic areas (review)

© 2023. Tatiana Yu. Beshpalova[✉], Anastasia A. Glazunova

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

The continued spread of African swine fever (ASF) in Eurasia remains a global problem for the world pig industry. The disease is characterized by high mortality (up to 100 %) and acute course - domestic and wild animals die within the first two weeks after infection. However, active surveillance on ASF in Eastern Europe had been showing regular detection of seropositive susceptible animals, especially among wild boar populations which may indicate chronic, asymptomatic infection and even the survival of individual animals. At the same time, the persistence of the virus in the wild boar population creates constant risks of sporadic outbreaks of ASF in infected areas, and the infection can become endemic. The aim of the study was a systematic review of the available data on seroprevalence among wild boars in relation to the possible establishment of ASF endemicity in Eurasia. In these animals, there was a change in the dynamics of the disease, which is manifested by self-sustaining cycles of infection. Seropositive wild boars are being found in the Baltic countries, Hungary, Poland, Romania, Slovakia, and Russia. Seroprevalence rates among wild boars hunted in ASF-infected areas of European countries range from 0.3 to 3.8 %. In the Baltic countries, the number of seropositive samples from wild boars exceeds the number of samples positive for ASF virus in polymer chain reaction (PCR). A similar trend persists in those regions where the ASF virus has

been present for a long time (Poland, Lithuania, Latvia, Estonia), which may indicate the endemic nature of ASF. In the Russian Federation, ASF-endemic territories in the wild have not yet been registered, although isolated cases of seropositive wild boars have been detected in some regions since 2013. In the future, in order to understand the dynamics of the disease in the wild, it is necessary to conduct a comprehensive diagnosis of the ASF virus genome and antibodies in wild boar samples, which eventually will allow choosing the right strategy to combat ASF.

Keywords: ASF virus; antibodies; seroprevalence, chronic; persistent; survivor; virulence

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Virology and Microbiology (theme No. FGNM-2022-0001).

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: Beshpalova T. Yu., Glazunova A. A. Identification of seropositive wild boars in Eurasia as a sign of possible formation of African swine fever-endemic areas. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):527-537. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.527-537>

Received: 20.03.2023

Accepted for publication: 19.07.2023

Published online: 30.08.2023

Африканская чума свиней (АЧС) в настоящее время является актуальным трансграничным вирусным заболеванием во многих странах мира. Ввиду отсутствия лечебных и профилактических средств она приводит к колоссальным экономическим затратам при проведении ликвидационных и карантинных мероприятий [1, 2]. Источник возбудителя АЧС – двухцепочечный ДНК-вирус, единственный представитель семейства *Asfarviridae*. Существование различных форм заболевания (от сверхострой до хронической) является важной особенностью АЧС. К восприимчивым животным относятся только виды, принадлежащие к семейству *Suidae*. У диких африканских свиней (бородавочников, кустарниковых свиней и гигантских лесных свиней) инфекция протекает субклинически или бессимптомно; и в большинстве стран Африки к югу от Сахары АЧС имеет эндемичный характер [2]. Из 24 известных генотипов вируса АЧС на территории большинства стран Европы и Азии циркулируют I и II генотипы, они обладают разной вирулентностью, которая отражается на течении и исходе заболевания [3, 4]. С 1957 года было несколько вторжений АЧС в Европу, Бразилию и Карибский регион [5]. В европейских странах первое распространение вируса АЧС I генотипа (1960-1995 гг.) из Испании и Португалии в другие страны Западной Европы привело к его ликвидации, за исключением Сардинии (Италия), где вирус остается эндемичным более 40 лет (с 1978 г.) [6, 7]. Вирус АЧС II генотипа впервые появился в Кавказском регионе и Российской Федерации (РФ) в 2007 году и впоследствии распространился на Северо-Восточную Европу и Азию, вызвав эпизоотию вследствие высокой вирулентности штаммов вируса [2]. С момента появления АЧС в Европе у домашних свиней и евразийского дикого

кабана инфекция, как правило, протекала в острой форме с очень высокими показателями смертности (до 100 %) и гибелью в течение первых двух недель после заражения. Несмотря на многочисленные экспериментальные данные о высокой вирулентности вируса II генотипа [8, 9, 10], в последние годы сообщается о снижении вирулентности штаммов вируса АЧС, циркулирующих на Кавказе, в странах Восточной Европы, Балтии, в России и Азии [11, 12, 13, 14]. В Китае в 2020 году из-за естественных мутаций в геномах высоковирулентных вирусов АЧС II генотипа появились менее вирулентные штаммы, вызывающие хронические и персистентные инфекции у свиней, а с 2021 года в стране также стали регистрировать I генотип [13]. Диагностическими исследованиями подтверждаются факты выживания отдельных особей после острой формы или развития подострого и хронического течения у восприимчивых животных. Начиная с конца 2015 года, эпизоотологические данные серологических исследований на АЧС в Восточной Европе показали ежегодное увеличение случаев серопозитивных животных (со специфическими антителами), что особенно было заметно в популяции дикого кабана [15, 16, 17].

При сверхостром и остром течении АЧС из-за скоротечности заболевания большая часть инфицированных животных, как правило, погибает до начала образования антител (далее – АТ), поэтому гуморальный ответ (сероконверсия) у таких животных не наблюдается, но вирусологическими и молекулярными методами подтверждается наличие вируса или его генома [18, 19]. Выявление серопозитивных кабанов одновременно с положительными результатами на вирус АЧС может свидетельствовать о развитии хронической персистентной инфекции. Выявление серопозитивных особей, которых

вирусологическими и молекулярными методами диагностировали как АЧС-отрицательные, предполагает выживание/выздоровление животных. Выжившие животные могут оставаться субклинически инфицированными, как ранее наблюдалось на Пиренейском полуострове, в Северной и Южной Америке [15, 17], их роль в персистенции вируса до сих пор обсуждается. Учитывая, что дикие африканские свиньи при развитии у них субклинической персистентной инфекции являются резервуарами вируса АЧС, выжившие животные представляют собой самые большие проблемы в борьбе с заболеванием [20]. При подострых, хронических формах в организме больных животных вирус АЧС находится в течение нескольких месяцев, вызывая лишь некоторые общие для вирусных геморрагических инфекций симптомы [21]. Поэтому у таких животных очень сложно выявлять эпизоотию АЧС на ранних этапах. В то же время у хронически больных особей имеется потенциальная возможность передавать вирус другим животным, что обуславливает локальное сохранение вируса АЧС в популяции. Это создает риски образования эндемичных по АЧС районов в пораженных странах, а также распространения вируса на другие территории в результате свободного трансграничного перемещения зараженных кабанов [21, 22, 23]. Следовательно, выявление большого количества серопозитивных кабанов в определенном географическом регионе может указывать на эндемический период АЧС.

Стоит отметить, что внутренний механизм постоянной циркуляции вируса в природе и популяциях восприимчивых животных еще не ясен, но очевидно, что формирование эндемичных территорий обусловлено персистенцией вируса [1]. Множественные спорадические случаи АЧС, которые возникают время от времени, могут быть отнесены к эндемическому заболеванию, хотя, по мнению М. П. Франта с соавт. (M. P. Frant, et al.), их часто ошибочно принимают за эпизоотии [24]. Поэтому, в конечном счете, выбор эффективной стратегии борьбы с АЧС во многом зависит от правильного понимания периода эпизоотии, который переживает определенный географический район, что в свою очередь зависит от регулярной лабораторной оценки эпизоотической ситуации.

Цель исследований – систематический обзор доступной литературы по серопревалентности среди диких кабанов для определения динамики заболевания и возможного

установления эндемичности АЧС в Евразии. Поскольку пассивный мониторинг сосредоточен на обследовании мертвых животных, а наше исследование касалось переболевших и выживших кабанов, мы использовали данные только активного надзора АЧС.

Материал и методы. В соответствии с целью систематического обзора изучены данные 47 источников по экспериментальным, молекулярно-генетическим и серологическим исследованиям дикого кабана на АЧС в рамках активного мониторинга, полученных путем запроса библиографических баз данных, научных электронных библиотек с поисковыми системами: Web of Science (<http://www.webof-science.com>); Scopus (<https://www.scopus.com>); eLIBRARY.RU (<https://www.elibrary.ru>); Springer (<https://www.springer.com>); Crossfer (<https://search.crossref.org>); Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>); Google Scholar (<https://scholar.google.ru/>). Данные о распространении вируса АЧС в мире с 2014 по 2023 год были получены с сайтов Всемирной организации по охране здоровья животных (OIE, WOAH, 2023), Европейского агентства по безопасности продуктов питания (EFSA) по опубликованным отчетам, Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) и Россельхознадзора. Был проведен поиск с использованием ключевых терминов: АЧС; вирус АЧС; популяция дикого кабана; антитела; серопозитивный; серопревалентность; хронический; субклинический; персистентный; выживший; вирулентность; генотип; ПЦР-отрицательный; эндемичность.

Основная часть. 1. *Дикий кабан как один из основных факторов риска распространения АЧС.* В ряде стран европейского континента (Литва, Польша, Латвия, Эстония, Чешская Республика, Венгрия, Болгария, Бельгия, Италия) основным источником вспышек АЧС, в том числе среди домашних свиней, являлся евразийский дикий кабан, на его долю приходилось более 90 % вспышек [6, 19, 24, 25]. По данным Всемирной организации по охране здоровья животных (OIE, WOAH) и Россельхознадзора, за весь период с начала интродукции АЧС до января 2023 года наибольшее количество случаев выявления АЧС среди кабанов регистрировалось в Польше с 2014 г. – 15199 случаев (среди домашних свиней – всего 504), в Венгрии с 2018 г. – 8942 (среди домашних свиней не было случаев), в Латвии с 2014 г. – 4652 (у домашних свиней – 98), в Республике Корея с 2019 года – 2109 (среди домашних

свиней – всего 27), в Германии с 2020 г. – 943 (у домашних свиней – 7). В отличие от перечисленных стран, в Российской Федерации (РФ) среди диких кабанов с 2007 года было зарегистрировано меньше случаев АЧС, чем среди домашних свиней, 906 и 1328 соответственно¹.

При распространении вируса АЧС I генотипа на Пиренейском полуострове (Португалия, Испания) и Сардинии (Италия) в конце прошлого века кабан не считался основным и многолетним резервуаром вируса АЧС. В начале эпизоотии не предполагали самоподдерживающихся инфекционных циклов у кабанов [17]. При этом движущей силой эпизоотии на первых ее этапах являлся непосредственный контакт зараженных кабанов между собой и с домашними свиньями, традиционно содержащимися на свободном выгуле в приусадебных хозяйствах [26]. С момента интродукции вируса АЧС II генотипа прослеживалась иная динамика распространения инфекции, например, в странах Балтии и Польше стали отмечать длительные (в течение нескольких лет) эндемические циклы без вовлечения домашних свиней [27]. Сравнительно недавно установлено, что в ходе эпизоотии в Европе АЧС в основном циркулирует в популяции диких кабанов в эпизоотологическом цикле «дикий кабан-среда обитания» [28]. Сообщается, что текущее распространение АЧС в виде панзоотии болезни свиней в Европе характеризуется самоподдерживающимися циклами инфекции в популяции кабанов [18, 28].

В то же время в РФ при ретроспективном анализе вспышек АЧС среди дикого кабана на особо охраняемых природных территориях за 2015-2021 гг., по сведениям А. М. Гулюкина и соавт., не было выявлено достоверных фактов длительной циркуляции вируса АЧС. Возможно, в РФ пока не сформировались природные очаги АЧС в отличие от Африканских и Средиземноморских стран, где длительная персистенция вируса в занятом биоценозе обеспечивается сменяющимися циклами: свинья – клещ – свинья. Как сообщается, география нозоареалов и плотность популяции кабана на территории РФ позволяют считать эпизоотию АЧС в дикой природе как вторичную, без потенциала к самостоятельному и длительному продолжению [29].

2. Изучение персистенции вируса АЧС в популяции дикого кабана методами моделиро-

вания. Чтобы получить лучшее представление о схемах передачи и персистенции вируса АЧС в популяции кабана и свести к минимуму риск заноса и передачи его домашним свиньям применяются различные методы моделирования. Пространственно-временная модель Т. Халаса и соавт. (Т. Halasa et al.) показала, что важным фактором, влияющим на передачу и персистенцию заболевания, является плотность популяции. Эпизоотии АЧС в смоделированных популяциях обычно сохраняются в течение нескольких месяцев, а в определенных ситуациях они могут продолжаться больше года [30]. Х. О'Нил и соавт. (Х. O'Neill et al.) для изучения персистенции АЧС у диких кабанов использовали детерминированную популяционную компартментальную модель, при которой включение вероятности повторного заражения для выживших после АЧС позволило получить долгосрочную персистенцию болезни [31]. В недавней работе М. Ланге с соавт. (М. Lange et al.) сообщалось, что небольшая доля (0,1-1,0 %) пожизненных вирусоносителей резко увеличивает вероятность долгосрочной персистенции АЧС [32]. Однако В. Гервасиус с соавт. (V. Gervasi et al.), используя метод пространственного стохастического индивидуального моделирования, предположили, что во время эндемической фазы наиболее важным источником заражения являются инфицированные туши кабанов, а выжившие животные играют незначительную роль в персистенции вируса. Кроме того, в исследовании отмечалась очень низкая эндемическая распространенность вируса, которая в среднем варьировала от 0,2 до 0,3 % (что означает 2-3 инфицированных кабана на 1000 особей в популяции). Серопозитивные особи составляли около 6 % популяции кабанов в начале эндемической фазы АЧС, сократившись через три года примерно до 1 %. Эти результаты моделирования показывают, что в эндемичном периоде обнаружение серопозитивных животных гораздо более вероятно, чем животных с положительными результатами на вирус АЧС [33].

Реальную ситуацию распространенности АЧС в популяции дикого кабана и становление эндемичного периода можно оценить с помощью лабораторных исследований на наличие вируса АЧС и специфических антител.

¹Россельхознадзор. Эпизоотическая ситуация по АЧС на территории Российской Федерации в странах Европы, Азии и Америки. Данные OIE с 2007-2023 г.

URL: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/files/iaс/foreign/2023/january/asf/05_achs_2007_2023_mir.pdf

3. Изучение серопревалентности к вирусу АЧС среди диких кабанов в рамках активного мониторинга.

3.1. Анализ распространенности вируса и/или специфических антител к вирусу АЧС в популяции кабанов в Европе. Вирус АЧС в основном поражает мононуклеарные фагоциты миелоидного происхождения (моноциты, макрофаги, дендритные клетки) [34]. При инфицировании вирусом АЧС у восприимчивых животных формируется защитный иммунный ответ, включающий как клеточно-опосредованный, так и гуморальный. Последний сопровождается выработкой ряда специфических антител против белков (р30, р54, р72, р73 и др.), имеющих разную функцию в иммунитете (подавляют прикрепление вируса АЧС к клеткам-хозяевам, предотвращают проникновение вирионов в клетки и др.) [35, 36, 37]. Серологическая конверсия происходит примерно на 4-20-ый день после инфицирования в зависимости от штамма и пути заражения [12, 19, 27], а АТ сохраняются в течение месяцев и даже лет [38, 39, 40]. Поскольку лицензированной вакцины против АЧС пока не существует, обнаружение специфических АТ является индикатором естественной инфекции, особенно в случаях субклинического или хронического течения [11].

С эпизоотологической точки зрения важно контролировать популяцию кабанов и следить за их серологическим статусом. В ряде европейских стран ведется регулярный активный мониторинг, который заключается в контролируемом отстреле кабанов в зонах риска АЧС. Кровь отстрелянных животных исследуют на наличие вируса АЧС (вирусовыделение, МФА) или его генома (ДНК) методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). Сыворотку крови исследуют на АТ к вирусу АЧС рекомендованными ОИЕ методами: в качестве скринингового теста на АТ используют твердофазный иммуноферментный анализ (ТФ-ИФА) и непрямой иммунофлуоресцентный анализ (нМФА), а в качестве подтверждающих анализов – иммунопероксидазный метод (ИПМ) или иммуноблоттинг (ИБ) [19].

Использование серологических и молекулярных методов в комплексе позволяет не только поставить диагноз, но и предположить форму течения АЧС у животных. Положительный тест на наличие вируса или его генома при отрицательном результате на АТ указывает на инфицированное животное с текущим тече-

нием АЧС от сверхострой до подострой формы [15]. Одновременное обнаружение ДНК возбудителя АЧС и антител указывает на протекающую инфекцию (в том числе хроническую или бессимптомную форму), при которой у животного выработались АТ в определяемых количествах (не менее 7-14 суток в зависимости от метода обнаружения); выявление только АТ при отрицательном результате на ДНК может указывать на переболевшее животное [21].

В рамках активного мониторинга в пострадавших от АЧС странах-членах Европейского союза (ЕС), используя Системы управления лабораторной информацией (LIMS) национальных лабораторий, все результаты исследований на АЧС проб кабанов, проверенных в период с января 2014 по 31 августа 2020 года, были собраны в Системе сбора данных (DCF) EFSA [41]. ДНК возбудителя АЧС определяли методом ПЦР, тестирование на специфические АТ проводили методом ТФ-ИФА, часть образцов дополнительно исследовали методом ИБ/ИПМ. С января 2014 года по апрель 2015 года в Референс-лаборатории ЕС (EURL) было исследовано 237 образцов крови, сыворотки и тканей от кабанов. Из них 80,17 % было параллельно исследовано на наличие вирусной ДНК и АТ. В 55,26 % образцов методом ИПМ было подтверждено наличие АТ [42].

За период с января 2014 года по август 2016 года в пострадавших от АЧС странах ЕС доля ПЦР-положительных образцов у отстрелянных кабанов была очень низкая (от 0,04 до 3,0 %), в то же время среди павших кабанов в Прибалтике она варьировала от 60 до 86 %, а в Польше от 0,50 до 1,42 % [43]. Серопревалентность среди отстрелянных кабанов в Литве, Эстонии, Латвии и Польше в 2014 году (год интродукции АЧС) составляла 0,42, 1,96, 0,59 и 3,2 % соответственно [42].

С момента появления АЧС в странах Балтии и Польше до октября 2018 года включительно, доля положительных образцов (ПЦР и/или ИФА) среди отстрелянных животных в целом была ниже 5 %, при этом превалентность вируса была выше, чем серопревалентность [16, 28, 43, 44].

Активный эпиднадзор, связанный с серологическим мониторингом отстрелянных диких кабанов в странах Балтии и в Польше, в последние годы показал изменение ситуации с АЧС. В начале эпизоотии большинство инфицированных животных в странах Балтии были положительными на вирус АЧС. В Польше

в период с 2014 по 2020 год наблюдалось увеличение серопозитивных животных. В Литве с мая 2019 года количество кабанов с положительными результатами на вирус начало снижаться, и за тот же период стало увеличиваться количество серопозитивных животных. Подобную тенденцию отметили эстонские и польские исследователи в регионах, где вирус АЧС присутствовал в течение более длительного времени. Было указано, что наблюдаемое течение заболевания в Эстонии, Латвии, Польше могло стать началом эндемичности АЧС, при этом все же большинство животных погибало, а количество выживших со временем увеличивалось [24]. Как сообщается в работе [16], в Эстонии, Латвии и Литве с момента первоначального заражения до эндемичности прошло примерно 5 лет. В отчете EFSA за 2019-2020 гг., по результатам лабораторных исследований, было отмечено, что в Латвии и Литве эпизоотия АЧС вероятно стагнирует, а в Эстонии – затухает. В то же время в Польше, Болгарии, Венгрии, Румынии и Словакии она приобрела еще большие масштабы [41].

Анализ данных молекулярных и серологических исследований на АЧС в последующем отчете EFSA (2022 г.) также показал различия в течении эпизоотии АЧС в странах-членах ЕС и ряде соседних стран. Было отмечено, что в Эстонии по сравнению с предыдущим годом, когда болезнь ослабевала, на 19 % увеличилось общее число случаев заболевания диких кабанов, а в двух округах наблюдался всплеск инфекции. По сравнению с предыдущим периодом число зарегистрированных случаев заболевания диких кабанов в Болгарии, Венгрии, Литве и Польше сократилось на 32, 22, 27 и 15 % соответственно, в Румынии наблюдалось увеличение случаев на 33 %, а в Словакии было зарегистрировано почти в 10 раз больше случаев. В Латвии рост случаев АЧС у диких кабанов наблюдался в восточной части страны. Анализ, проведенный в странах Балтии, подтвердил значительное снижение положительных результатов ПЦР у диких кабанов в регионе. Было предположено, что существует взаимосвязь между долей ПЦР-положительных образцов и заболеваемостью АЧС среди кабанов [45].

Результаты тестирования на АЧС образцов, полученных от отстрелянных кабанов, в рамках активного эпиднадзора, проводимого с 01.09.2020 г. по 31.08.2021 г. в пострадавших от АЧС странах Евросоюза и РФ, а также пре-

валентность вируса (количество ПЦР-положительных образцов, в процентах) и антител (количество ИФА-положительных образцов, в процентах) представлены в таблице.

Из данных таблицы видно, что серопревалентность среди отстрелянных диких кабанов находилась в диапазоне от 0,02 до 3,56 % (в пораженных районах варьировала от 0,3 до 3,8 %) и была ниже, чем превалентность вируса, за исключением стран Прибалтики. Обнаружение большего количества серопозитивных образцов, по сравнению с ПЦР-положительными, может являться признаком формирования эндемичных территорий в этих странах.

В целом анализ результатов тестов, представленных в DCF EFSA с начала 2016 года до августа 2021 года, показал, что общего увеличения доли серопозитивных образцов у диких кабанов в пострадавших от АЧС странах не наблюдалось, в том числе ПЦР-отрицательных. Это говорит о том, что за указанный период количество выживших кабанов не увеличивалось [45].

3.2. Исследования на наличие вирусной ДНК и специфических антител у молодых кабанов. При выявлении серопозитивных диких кабанов следует учитывать возможное присутствие в их организме колюстральных антител. В Польше во время активного эпиднадзора за зонами риска АЧС в 2017-2018 годах было исследовано примерно 27 тысяч образцов крови кабанов на наличие вирусной ДНК и антител против вируса АЧС. В 420 образцах (1,58 %) были обнаружены антитела к вирусу АЧС [39]. Однако более половины из всех серопозитивных образцов были ПЦР-отрицательными на наличие ДНК вируса АЧС (292), причем 126 образцов принадлежали молодым кабанам (возраст ≤ 1 года). Последний факт может быть объяснен вертикальной передачей антител, а именно иммуноглобулинов G (IgG), с молозивом от выздоравливающей самки. М. Вальчак и соавт. (M. Walczak et al.) предположили, что молодые кабаны теоретически имеют меньше шансов заразиться вирусом АЧС, поскольку период полураспада IgG может варьировать в среднем от 21-го дня до нескольких месяцев. Но, несмотря на возможную вертикальную передачу антител, нельзя исключить заражение молодняка низковирулентным изолятом АЧС, бессимптомную форму заболевания или период выздоровления. Из взрослых животных в этом исследовании у десяти серопозитивных туш кабанов не было обнаружено ни патологических

Таблица – Результаты исследований ПЦР, ИФА, превалентность вируса и антител среди отстрелянного дикого кабана (активный мониторинг с 01.09. 2020 по 31.08. 2021) в пострадавших от АЧС странах ЕС и РФ [41, 45] /
Table – The results of PCR and ELISA studies and prevalence (%) of virus and antibodies for hunted wild boar (active surveillance from 01.09. 2020 to 31.08. 2021) in the ASF-affected EU countries and Russia [41, 45]

| Страна / Country | Дата регистрации первого подтверждения АЧС / Date of first notification of ASF | Кол-во случаев с момента первого подтверждения АЧС* / Cases since first confirmation of ASF* | ПЦР-образцы / PCR-samples | | | ИФА-образцы / ELISA-samples | | | | |
|---------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|------------------------------|---|--------------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| | | | всего / total | положительные / positive | % положительных / % positive | всего / total surveillance in whole country | положительные / positive | % положительных / % positive | положительные / positive | % положительных / % positive |
| Болгария / Bulgaria | 23.10.2018 | 919 | 12671 | 1167 | 9,2 | 4729 | 1 | 0,02 | Данные не представлены в DCF / No data provided to DCF | |
| Венгрия / Hungary | 21.04.2018 | 8247 | 59747 | 781 | 1,3 | 3270 | 35 | 1,07 | 35 | 1,35 |
| Литва / Lithuania | 24.01.2014 | 4032 | 12924 | 24 | 0,18 | 12823 | 148 | 1,15 | 96 | 1,5 |
| Эстония / Estonia | 08.09.2014 | 2876 | 10081 | 12 | 0,12 | 10069 | 75 | 0,74 | 27 | 1,36 |
| Латвия / Latvia | 26.06.2014 | 4282 | 20889 | 51 | 0,24 | 20854 | 743 | 3,56 | 341 | 3,8 |
| Польша / Poland | 17.02.2014 | 12036 | 119336 | 477 | 0,4 | 63986 | 192 | 0,3 | 169 | 0,3 |
| Румыния / Romania | 29.05.2018 | 2602 | 32690 | 1115 | 3,4 | 28443 | 653 | 2,3 | 611 | 2,2 |
| Словакия / Slovakia | 08.08.2019 | 1784 | 27624 | 140 | 0,5 | 27514 | 88 | 0,32 | 88 | 0,4 |
| Германия / Germany | 10.09.2020 | 1872 | 84036 | 200 | 0,23 | 2772 | 0 | - | 0 | - |
| Россия / Russia | 05.12.2007 | 3159 | 32313 | 79 | 0,24 | 10069 | 75 | 0,74 | 16 | - |

* В число "случаев" заболевания АЧС II генотипа включены как серопозитивные, так и положительные на вирус дикие кабаны /

*The number of "cases" of ASF II genotype disease includes both seropositive and virus-positive wild boars.

** Количество проб, полученных только в районах, где было зарегистрировано хотя бы одно уведомление об АЧС или вспышка за отчетный период, начиная с первого положительного случая /

**Samples tested for ASF in areas in the country had at least one case or outbreak of ASF reported in the reporting period.

Комментарии к таблице: данные из Чехии и Бельгии не вошли в анализ, т. к. страны были свободны от АЧС с 03.2019 г. и с 01.10.20 г., соответственно, и за указанный период данные ИФА не были представлены /
Comments to the table: data from the Czech Republic and Belgium were not included in the analysis, because the countries were free from ASF from 03.2019 and from 1.10.20, respectively, and for the specified period, the ELISA data were not provided.

поражений, характерных для АЧС, ни наличия ДНК-вируса АЧС, что также можно было объяснить периодом выздоровления. Однако следует иметь в виду, что некоторые животные могут оставаться с очень низким или неопределяемым уровнем ДНК вируса в случае низковирулентных изолятов, вызывающих хроническую форму АЧС, как было показано К. Гальярдо и соавт. (С. Gallardo et al.) в экспериментах с домашними свиньями [46].

3.3. Исследования кабанов на специфические антитела к вирусу АЧС в РФ. С момента заноса в 2007 году на территориях РФ циркулирует вирус АЧС II генотипа [20], с 2008 года наблюдается небольшое, но постоянное сокращение популяции кабана [45]. В исследовании Л. Мир с соавт. (L. Mur et al.) были проанализированы экспериментальные образцы изолятов вируса АЧС, выделенных в РФ в 2013 г. (74 сыворотки и 3 тканевых экссудата), и полевые образцы из РФ с 2013 по 2014 г. (266 проб, в т. ч. 32 и 7 тканевых экссудатов домашних свиней и диких кабанов, соответственно). Все образцы были протестированы методом ИФА, а некоторые из них (79) также исследованы иммунохроматографическими тестами. Положительные и сомнительные образцы подтверждались методом ИБ. Как в опытных, так и в полевых образцах были получены положительные результаты. При этом 3,7 % полевых проб получены положительными на АТ, что могло указывать на потенциальное присутствие выживших животных на территории РФ в тот период [12]. В рамках активного мониторинга, проводимого в РФ с 01.09.2020 по 31.08.2021 г. было выявлено всего 0,74 % серопозитивных образцов от отстрелянных кабанов [45]. Отмечались в РФ и случаи выявления серопозитивных/ПЦР-отрицательных кабанов. Так, в исследованиях А. Р. Шотин и соавт. на юге (2017 и 2021 гг.) и западе (2018 г.) Владимирской области в полевых ПЦР-отрицательных и одном сомнительном образцах от отстрелянных кабанов были обнаружены специфические АТ к АЧС. Причем официально нотифицированных очагов в вышеназванном регионе, начиная с середины 2018 г., выявлено не было. Сообщается, что такие серопозитивные животные являются выздоровевшими от АЧС (в т. ч. при инфицировании вариантом вируса

с пониженной вирулентностью). В целом, в образцах отстрелянных кабанов в 2017, 2018, 2020 и 2021 гг. из 11 регионов пяти федеральных округов РФ было обнаружено всего 13 положительных проб на АТ к вирусу АЧС (в Калининградской, Владимирской, Волгоградской областях, Татарстане и Хабаровском крае) [21].

В РФ лабораторные исследования на АЧС образцов от кабанов проводят в основном методом ПЦР, применение серологических методов ограничено в связи со сложностью получения качественного биоматериала на местах отстрела. Крайне малое количество выявляемых в РФ серопозитивных кабанов пока не дает возможности сделать выводы относительно истинного уровня серопревалентности к вирусу АЧС в дикой природе, для этого необходимы мониторинговые серологические исследования в масштабах всех пораженных округов.

Заключение. Обнаружение специфических антител к вирусу АЧС у кабанов имеет решающее значение в определении текущей фазы эпизоотии. Сероконверсия может указывать на хроническую, бессимптомную инфекцию или выздоровление отдельных особей после переболевания острой и подострой формами АЧС. При этом персистенция вируса у таких животных создает постоянные риски возникновения спорадических вспышек АЧС на зараженных территориях, а инфекция может приобрести эндемичный характер. В настоящее время среди европейских стран серопозитивных диких кабанов выявляют в Венгрии, Польше, Румынии, Словакии, Прибалтике, России. В тех регионах, где вирус АЧС присутствует в течение длительного времени (Польша, Литва, Латвия, Эстония), отмечается тенденция перехода эпизоотии АЧС в эндемическую фазу. В РФ, несмотря на долгое присутствие данного вируса, пока не установлено появления АЧС-эндемичных территорий в дикой природе, что, возможно, связано с недостаточно проработанными этапами активного эпиднадзора. Внедрение в практику комплексной серологической, молекулярной и вирусологической диагностики поможет объективно оценить динамику болезни в плане установления эндемичности и, в конечном счете, разработать эффективные меры борьбы с заболеванием.

Список литературы

1. Blome S., Franzke K., Beer M. African swine fever-A review of current knowledge. *Virus Research*. 2020;287:198099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198099>
2. EFSA Panel on Animal Health and Welfare, Nielsen S. S., Alvarez J., Bicout D. J., Calistri P., Canali E., Drewe J. A., Garin-Bastuji B., Gonzales Rojas J. L., Schmidt C., Herskin M., Michel V., Padalino B., Pasquali P., Roberts H. C., Spooler H., Stahl K., Velarde A., Winckler C., Blome S., Boklund A., Bøtner A., Dhollander S., Rapagna C., Van der Stede Y., Miranda Chueca M. A. Scientific Opinion on the research priorities to fill knowledge gaps in wild boar management measures that could improve the control of African swine fever in wild boar populations. *EFSA Journal*. 2021;19(7):e06716. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6716>
3. Ge S., Li J., Fan X., Liu F., Li L., Wang Q., Ren W., Bao J., Liu C., Wang H., Liu Y., Zhang Y., Xu T., Wu X., Wang Z. Molecular Characterization of African Swine Fever Virus, China. *Emerging Infectious Diseases*. 2018;24(11):2131-2133. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2411.181274>
4. Ayanwale A., Trapp S., Guabiraba R., Caballero I., Roesch F. New Insights in the Interplay Between African Swine Fever Virus and Innate Immunity and Its Impact on Viral Pathogenicity. *Frontiers Microbiology*. 2022;13:958307. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958307>
5. Conan A., Kim Y., Yang D. A., Win T. T. Z., Nekouei O., Pfeiffer D. U. African Swine Fever Cross-border Risk Assessment Manual: South-East Asia. World Organisation for Animal Health (OIE) Sub-Regional Representation for South-East Asia. Bangkok, Thailand, 2022. 36 p. URL: https://rr-asia.woah.org/wp-content/uploads/2022/04/asf-risk-assessment-manual-update_31mar22.pdf
6. Loi F., Di Sabatino D., Baldi I., Rolesu S., Gervasi V., Guberti V., Cappai S. Estimation of R0 for the Spread of the First ASF Epidemic in Italy from Fresh Carcasses. *Viruses*. 2022;14(10):2240. DOI: <https://doi.org/10.3390/v14102240>
7. Cadenas-Fernández E., Sánchez-Vizcaíno J. M., Pintore A., Denurra D., Cherchi M., Jurado C., Vicente J., Barasona J. A. Free-Ranging Pig and Wild Boar Interactions in an Endemic Area of African Swine Fever. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019;6:376. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00376>
8. Pikalo J., Schoder M. E., Sehl J., Breithaupt A., Tignon M., Cay A. B., Gager A. M., Fischer M., Beer M., Blome S. The African swine fever virus isolate Belgium 2018/1 shows high virulence in European wild boar. *Transboundary and emerging diseases*. 2020;67(4):1654-1659. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.13503>
9. Nurmoja I., Petrov A., Breidenstein C., Zani L., Forth J. H., Beer M., Kristian M., Viltrop A., Blome S. Biological characterization of African swine fever virus genotype II strains from north-eastern Estonia in European wild boar. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017;64(6):2034-2041. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12614>
10. Gallardo C., Soler A., Rodze I., Nieto R., Cano-Gómez C., Fernandez-Pinero J., Arias M. Attenuated and non-haemadsorbing (non-HAD) genotype II African swine fever virus (ASFV) isolated in Europe, Latvia 2017. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2019;66(3):1399-1404. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.13132>
11. Gallardo C., Nurmoja I., Soler A., Delicado V., Simón A., Martín E., Pérez C., Nieto R., Arias M. Evolution in Europe of African swine fever genotype II viruses from highly to moderately virulent. *Veterinary microbiology*. 2018;219:70-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.04.001>
12. Mur L., Igolkin A., Varentsova A., Pershin A., Remyga S., Shevchenko I., Zhukov I., Sánchez-Vizcaíno J. M. Detection of African Swine Fever Antibodies in Experimental and Field Samples from the Russian Federation: Implications for Control. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2016;63(5):e436-e440. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12304>
13. Sun E., Huang L., Zhang X., Zhang J., Shen D., Zhang Z., Wang Z., Huo H., Wang W., Huangfu H., Wang W., Li F., Liu R., Sun J., Tian Z., Xia W., Guan Y., He X., Zhu Y., Zhao D., Bu Z. Genotype I African swine fever viruses emerged in domestic pigs in China and caused chronic infection. *Emerging microbes & infections*. 2021;10(1):2183-2193. DOI: <https://doi.org/10.1080/22221751.2021.1999779>
14. Pershin A., Shevchenko I., Igolkin A., Zhukov I., Mazloun A., Aronova E., Vlasova N., Shevtsov A. A long-term study of the biological properties of ASF virus isolates originating from various regions of the Russian Federation in 2013–2018. *Veterinary Sciences*. 2019;6(4):99. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci6040099>
15. Бельтран-Алькрудо Д., Ариас М., Гайардо К., Крамер С., Пенрит М. Л. Африканская чума свиней: обнаружение и диагностика – руководство для ветеринаров. Руководство по животноводству и охране здоровья животных № 19. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединенных Наций (ФАО), 2017. 104 с. Режим доступа: <https://www.fao.org/3/i7228ru/17228RU.pdf>
16. Beltrán-Alcruado D., Arias M., Gallardo C., Kramer S., Penrith M. L. African swine fever: detection and diagnosis – A manual for veterinarians. FAO Animal Production and Health Manual No. 19. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. 104 p. URL: <https://www.fao.org/3/i7228e/i7228e.pdf>
17. European Food Safety Authority, Boklund A., Bøtner A., Chesnoiu V. T., Depner K., Desmecht D., Guberti V., Helyes G., Korytarova D., Linden A., Miteva A., More S., Olsevskis E., Ostojic S., Roberts H., Spiridon M., Ståhl K., Thulke H.-H., Vilija G., Viltrop A., Wallo R., Wozniakowski G., Abrahantes C. J., Dhollander S., Gogin A., Ivanciu C., Papanikolaou A., Villeta L. C. G., Gortázar Schmidt Ch. Epidemiological analyses of African swine fever in the European Union (November 2018 to October 2019). *EFSA Journal*. 2020;18(1):e05996. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5996>
18. Schulz K., Conraths F. J., Blome S., Staubach C., Sauter-Louis C. African Swine Fever: Fast and Furious or Slow and Steady? *Viruses*. 2019;11(9):866. DOI: <https://doi.org/10.3390/v11090866>

18. Sánchez-Cordón P. J., Nunez A., Neimanis A., Wikström-Lassa E., Montoya M., Crooke H., Gavier-Widén D. African Swine Fever: Disease Dynamics in Wild Boar Experimentally Infected with ASFV Isolates Belonging to Genotype I and II. *Viruses*. 2019;11(9):852. DOI: <https://doi.org/10.3390/v11090852>
19. OIE Terrestrial Manual 2019. Chapter 3.8.1. African swine fever (infection with African swine fever virus). URL: https://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.08.01 ASF.pdf
20. Danzetta M. L., Marenzoni M. L., Iannetti S., Tizzani P., Calistri P., Feliziani F. African Swine Fever: Lessons to Learn From Past Eradication Experiences. A Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:296. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00296>
21. Шотин А. Р., Мазлум А., Иголкин А. С., Шевченко И. В., Елсукова А. А., Аронова Е. В., Власова Н. Н. Альтернативные подходы к диагностике африканской чумы свиней на территории Российской Федерации в 2017-2021 гг. *Вопросы вирусологии*. 2022;67(4):290-303. DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-112>
- Shotin A. R., Mazloun A., Igolkin A. S., Shevchenko I. V., Elsukova A. A., Aronova E. V., Vlasova N. N. Alternative approaches to the diagnosis of African swine fever in the Russian Federation in 2017-2021. *Voprosy virusologii = Problems of Virology*. 2022;67(4):290-303. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-112>
22. De la Torre A., Bosch J., Iglesias I., Muoz M. J., Mur L., Martínez-López B., Martínez M., Sánchez-Vizcaíno J. M. Assessing the risk of African swine fever introduction into the European Union by wild boar. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2015;62(3):272-279. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12129>
23. Vergne T., Gogin A., Pfeiffer D. U. Statistical exploration of local transmission routes for African swine fever in Pigs in the Russian Federation, 2007-2014. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017;64(2):504-512. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12391>
24. Frant M. P., Gal-Cisoń A., Bocian Ł., Ziętek-Barszcz A., Niemczuk K., Szczotka-Bochniarz A. African Swine Fever (ASF) Trend Analysis in Wild Boar in Poland (2014-2020). *Animals (Basel)*. 2022;12(9):1170. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12091170>
25. Nurmoja I., Mõtus K., Kristian M., Niine T., Schulz K., Depner K., Viltrop A. Epidemiological analysis of the 2015-2017 African swine fever outbreaks in Estonia. *Preventive Veterinary Medicine*. 2020;181:104556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.10.001>
26. Gogin A., Gerasimov V., Malogolovkin A., Kolbasov D. African swine fever in the North Caucasus region and the Russian Federation in years 2007-2012. *Virus Research*. 2013;173(1):198-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2012.12.007>
27. Sauter-Louis C., Conraths F. J., Probst C., Blohm U., Schulz K., Sehl J., Fischer M., Forth J. H., Zani L., Depner K., Mettenleiter T. C., Beer M., Blome S. African Swine Fever in Wild Boar in Europe - A Review. *Viruses*. 2021;13(9):1717. DOI: <https://doi.org/10.3390/v13091717>
28. Chenais E., Ståhl K., Guberti V., Depner K. Identification of Wild Boar-Habitat Epidemiologic Cycle in African Swine Fever Epizootic. *Emerging Infectious Diseases*. 2018;24(4):809-811. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2404.172127>
29. Гулюкин А. М., Белименко В. В., Шабейкин А. А., Цареградский П. Ю., Патрикеев В. В. Эпизоотическая ситуация по африканской чуме свиней на особо охраняемых природных территориях. *Ветеринария*. 2022;(11):15. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.11.15-22> EDN: BSIMZK
- Gulyukin A. M., Belimenko V. V., Shabeykin A. A., Tsaregradskiy P. Yu., Patrikeev V. V. Epizootic situation on african swine fever in nature conservation areas. *Veterinariya = Veterinary*. 2022;(11):15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.11.15-22>
30. Halasa T., Boklund A., Bøtner A., Mortensen S., Kjør L. J. Simulation of transmission and persistence of African swine fever in wild boar in Denmark. *Preventive Veterinary Medicine*. 2019;167(1):68-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.03.028>
31. O'Neill X., White A., Ruiz-Fons F., Gortázar C. Modelling the transmission and persistence of African swine fever in wild boar in contrasting European scenarios. *Scientific Reports*. 2020;10:5895. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62736-y>
32. Lange M., Reichold A., Thulke H. Modelling advanced knowledge of African swine fever, resulting surveillance patterns at the population level and impact on reliable exit strategy definition. *EFSA Journal*. 2021;18(3):6429E. DOI: <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2021.EN-6429>
33. Gervasi V., Guberti V. African swine fever endemic persistence in wild boar populations: Key mechanisms explored through modelling. *Transboundary and emerging diseases*. 2021;68(5):2812-2825. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.14194>
34. Franzoni G., Graham S. P., Giudici S. D., Bonelli P., Pilo G., Anfossi A. G., Pittau M., Nicolussi P. S., Ladomada A., Oggiano A. Characterization of the interaction of African swine fever virus with monocytes and derived macrophage subsets. *Veterinary microbiology*. 2017;198:88-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2016.12.010>
35. Bastos A. D., Penrith M. L., Cruciare C., Edrich J., Hutchings G., Roger F., Couacy-Hymann E., Thomson G. R. Genotyping field strains of African swine fever virus by partial p72 gene characterisation. *Archives of virology*. 2003;148:693-706. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00705-002-0946-8>
36. Gallardo C., Mwaengo D. M., Macharia J. M., Arias M., Taracha E. A., Soler A., Okoth E., Martín E., Kasiti J., Bishop R. P. Enhanced discrimination of African swine fever virus isolates through nucleotide sequencing of the p54, p72, and pB602L (CVR) genes. *Virus genes*. 2009;38:85-95. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11262-008-0293-2>
37. Середа А.Д., Казакова А.С., Имамдинов А.Р., Колбасов Д.В. Гуморальные и клеточно-опосредованные механизмы иммунитета при африканской чуме свиней (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(6):709-718. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.709rus>

Sereda A. D., Kazakova A. S., Imatdinov A. R., Kolbasov D. V. Humoral and cell immune mechanisms under African swine fever. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2015;50(6):709-718. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.709eng>

38. Petrov A., Forth J., Zani L., Beer M., Blome S. No evidence for long-term carrier status of pigs after African swine fever virus infection. *Transboundary and emerging diseases*. 2018;65(5):1318-1328.

DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12881>

39. Walczak M., Wasiak M., Dudek K., Kycko A., Szacawa E., Olech M., Woźniakowski G., Szczotka-Bochniarz A. Blood Counts, Biochemical Parameters, Inflammatory, and Immune Responses in Pigs Infected Experimentally with the African Swine Fever Virus Isolate Pol18_28298_O111. *Viruses*. 2021;13(3):521. DOI: <https://doi.org/10.3390/v13030521>

40. Lai D. C., Oh T., Nguyen H. T., Do D. T. The study of antigen carrying and lesions observed in pigs that survived post African swine fever virus infection. *Tropical Animal Health and Production*. 2022;54:264.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03229-0>

41. European Food Safety Authority (EFSA), Desmecht D., Gerbier G., Gortázar Schmidt Ch., Grigaliuniene V., Helyes G., Kantere M., Korytarova D., Linden A., Miteva A., Neghirla I., Olsevskis E., Ostojic S., Petit T., Staubach Ch., Thulke H.-H., Viltrop A., Richard W., Wozniakowski G., Cortiñas J. A., Broglia A., Dhollander S., Lima E., Papanikolaou A., Van der Stede Y., Ståhl K. Scientific Opinion on the epidemiological analysis of African swine fever in the European Union (September 2019 to August 2020). *EFSA Journal*. 2021;19(5):e06572.

DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6572>

42. EFSA Panel on Animal Health and Welfare. African swine fever. *EFSA Journal*. 2015;13(7):4163.

DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4163>

43. European Food Safety Authority, Cortinas Abrahantes J., Gogin A., Richardson J., Gervelmeyer A. Epidemiological analyses on African swine fever in the Baltic countries and Poland. *EFSA Journal*. 2017;15(3):4732.

DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4732>

44. European Food Safety Authority, Boklund A., Cay B., Depner K., Foldi Z., Guberti V., Masiulis M., Miteva A., More S., Olsevskis E., Satran P., Spiridon M., Stahl K., Thulke H.-H., Viltrop A., Wozniakowski G., Broglia A., Cortinas Abrahantes J., Dhollander S., Gogin A., Verdonck F., Amato L., Papanikolaou A., Gortazar C. Scientific report on the epidemiological analyses of African swine fever in the European Union (November 2017 until November 2018). *EFSA Journal*. 2018;16(11):e05494. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5494>

45. European Food Safety Authority, Banos J. V., Boklund A., Gogin A., Gortazar C., Guberti V., Helyes G., Kantere M., Korytarova D., Linden A., Masiulis M., Miteva A., Neghirla I., Olsevskis E., Ostojic S., Petr S., Staubach C., Thulke H.-H., Viltrop A., Wozniakowski G., Broglia A., Abrahantes Cortinas J., Dhollander S., Mur L., Papanikolaou A., Van der Stede Y., Zancanaro G., Stahl K. Scientific report on the epidemiological analyses of African swine fever in the European Union. *EFSA Journal* 2022;20(5):e07290. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7290>

46. Gallardo C., Soler A., Nieto R., Sánchez M. A., Martins C., Pelayo V., Carrascosa A., Revilla Y., Simón A., Briones V., Sánchez-Vizcaino J. M., Arias M. Experimental Transmission of African Swine Fever (ASF) Low Virulent Isolate NH/P68 by Surviving Pigs. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2015;62(6):612-622.

DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12431>

Сведения об авторах

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

Глазунова Анастасия Александровна, заместитель руководителя группы, Самарский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Магнитогорская, д. 8, г. Самара, Российская Федерация, 443013, e-mail: samara@ficvim.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5615-1903>

Information about the authors

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

Anastasia A. Glazunova, deputy head of the group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Magnitogorskaya str., 8, Samara, Russian Federation, 443013, e-mail: samara@ficvim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5615-1903>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.538-548>

УДК 633.11:581.1.051

Поиск продуктивных, засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы для селекции в условиях Кировской области

© 2023. О. С. Амунова✉, А. В. Мамаева

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

В статье представлены результаты изучения 73 образцов мягкой яровой пшеницы из числа новых поступлений в мировую коллекцию Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова» для включения продуктивных, устойчивых к засухе образцов в рабочую коллекцию по селекции культуры в условиях Кировской области. По результатам полевой оценки 2019...2021 гг., включающей анализ элементов структуры продуктивности и урожайности, выделены 23 образца в качестве источников селекционно-ценных признаков. По наименьшей депрессии значений элементов продуктивности в засушливый год (2021, ГТК = 1,07) относительно оптимального по влагообеспеченности (2019, ГТК = 1,30) отечественные среднеспелые образцы РИМА (Московская обл., Рязанская обл.), Тобольская (Алтайский кр.), Ульяновская 105 и Экада 70 (Ульяновская обл.) отнесены к засухоустойчивым, что позволяет использовать их в селекции на устойчивость к летней засухе. Устойчивость к ранневесенней засухе оценивали в лабораторных условиях при имитации засухи (раствор сахарозы, осмотическое давление 6 атм.) и нормальных условиях увлажнения (дистиллированная вода, 0 атм.) по проценту прорастания семян и параметрам одного проростка (число зародышевых корней, масса сухого вещества). В результате выделено 19 потенциально засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы. Для включения в селекцию на устойчивость к ранневесенней засухе рекомендованы среднеранние сорта Зауралочка (Курганская обл., РФ) и Чайка (Беларусь), среднеспелые – РИМА (Московская обл., Рязанская обл., РФ) и Уралосибирская (Омская обл., РФ). Выявлены высокопродуктивные образцы с комплексной засухоустойчивостью – Экада 109 (Республика Татарстан, РФ) и Екатерина (Свердловская обл., РФ), что позволяет рассматривать их в качестве универсальных доноров для создания адаптированных к условиям Кировской области сортов мягкой яровой пшеницы.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., коллекция ВИР, продуктивность, засухоустойчивость, осмотический стресс, физиологические параметры проростка

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).

Авторы благодарят сотрудников отдела эдафической устойчивости растений ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» за помощь в проведении лабораторных исследований.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Амунова О. С., Мамаева А. В. Поиск продуктивных, засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы для селекции в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):538-548. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.538-548>

Поступила: 15.01.2023

Принята к публикации: 26.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Search for productive, drought-resistant accessions of soft spring wheat for breeding in the conditions of Kirov region

© 2023. Oksana S. Amunova✉, Anastasiya V. Mamaeva

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

The article presents the results of study of 73 varieties of soft spring wheat from the new samples in the world collection of the Federal Research Center "All-Russian Institute of Plant Breeding named after N. I. Vavilov" in order to include the productive, drought-resistant samples into the working collection on crop breeding in the conditions of the Kirov region. According to the results of the field assessment of 2019...2021, which includes an analysis of the elements of productivity and yield structure, 23 samples were identified as sources of breeding-valuable traits. According to the lowest depression of the values of productivity elements in a dry year (2021, HTC = 1.07) relative to the optimal moisture supply (2019, HTC = 1.30), domestic medium-ripened samples RIMA (Moscow region, Ryazan region), Tobolskaya (Altai Kr.), Ulyanovskaya 105 and Ekada 70 (Ulyanovsk region) are classified as drought-resistant, which allows them to be included into breeding work for resistance to summer drought. Resistance to early spring drought was evaluated in the laboratory conditions under simulated

drought (sucrose solution, osmotic pressure 6 atm.) and normal humidification conditions (distilled water, 0 atm.) according to the percentage of germination of seeds and the parameters of one seedling (the number of seminal roots, the mass of dry matter). As the result, 19 potentially drought-resistant samples of soft spring wheat were identified. For inclusion into breeding work for resistance to early spring drought, medium-early varieties Zauralochka (Kurgan region, Russia) and Chayka (Belarus), medium-ripened RIMA (Moscow region, Ryazan region, Russia) and Uralosibirskaya (Omsk region, Russia) are recommended. Highly productive samples with complex drought resistance Ekada 109 (Tatarstan, Russia) and Ekaterina (Sverdlovsk region, Russia) have been identified, which provides them to be considered as universal donors for the creation of varieties of soft spring wheat adapted to the conditions of the Kirov region.

Keywords: *Triticum aestivum* L., VIR collection, productivity, drought resistance, osmotic stress, physiological parameters of the seedling

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

The authors thank the staff of the Department of Plant Edaphic Resistance of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky for assistance in laboratory studies.

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: Amunova O. S., Mamaeva A. V. Search for productive, drought-resistant accessions of soft spring wheat for breeding in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):538-548. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.538-548>

Received: 15.01.2023

Accepted for publication: 26.07.2023

Published online: 30.08.2023

Согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций – FAO, к середине XXI века население Земли может достичь 9-10 млрд человек, что потребует увеличения валового сбора зерна пшеницы до 1 млрд т в год (<http://faostat.fao.org>). Отмечается, что ежегодный прирост производства зерна должен будет возрасти до 2,0 % по сравнению с нынешним показателем – 1,3 %. Основным инструментом преодоления данного вызова станет увеличение эффективности сельскохозяйственных ресурсов и повышение устойчивости к климатическим рискам [1].

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства одним из главных вопросов является повышение устойчивости возделываемых культур, в том числе яровых колосовых злаков, к неблагоприятным и экстремальным условиям внешней среды, в частности к засухе, которую считают главной угрозой для мирового продовольственного снабжения. Важнейшей задачей в селекции на устойчивость к этому стрессору является поиск в исходном материале сортов, формирующих стабильную урожайность в засушливые годы [2]. Сорта пшеницы по-разному отвечают на засуху, о чем дают представление работы отечественных и зарубежных ученых. Одни генотипы «уходят» от ее вредного воздействия, изменяя продолжительность вегетации, сводят к минимуму процесс транспирации и т. д. [3, 4, 5], другие – адаптируются, обеспечивая репродуктивный успех и урожайность зерна надлежащим использованием растениями доступной воды [6]. Повы-

шение урожайности является одним из основных направлений селекционной работы по данной культуре, поэтому селекционерам важно понимать особенности формирования урожая зерна разными по засухоустойчивости сортами в условиях засухи того или иного типа [7].

Занимая площадь около 120 тыс. км², Кировская область является частью Северо-Восточной зоны Европейской России. Климат области умеренно-континентальный. Погодные условия характеризуются неравномерным распределением тепла и влаги как по годам, так и в течение вегетации. Выделение нового исходного материала для селекции яровой пшеницы, обеспечивающего устойчивые урожаи на фоне широкого варьирования погодных условий, является актуальной задачей для нашего региона, как, впрочем, и для многих сельскохозяйственных регионов России [8]. Урожайность пшеницы в Кировской области определяется главным образом количеством атмосферных осадков. Резкий их недостаток и быстрое нарастание температуры в период «всходы – выход в трубку», наблюдаемые в последние годы все чаще, не позволяют растениям формировать развитую вторичную корневую систему и дополнительные продуктивные побеги. Повышенный температурный режим является основной причиной сокращения сроков ассимиляции и налива зерна, что приводит к недобору урожая, при этом снизить потери за счет сорта не всегда удается [9].

Устойчивость к засухе является количественным признаком со сложным фенотипом,

зависящим от стадий развития растений и силы воздействия стрессового фактора. В селекции пшеницы на устойчивость к засухе необходимо улучшать те признаки, которые способствуют экономному расходованию влаги и не вступают в противоречие с продуктивностью растений [10]. Следовательно, разработка сортов для возделывания в условиях ограниченной водной среды будет включать отбор как физиологических, так и морфологических механизмов засухоустойчивости с помощью традиционных программ селекции [11].

Полевая засухоустойчивость – это сложный комплекс признаков и свойств генотипа и при всей своей объективности требует многолетних наблюдений. Засуха бывает не каждый год, ее характер может меняться в течение вегетации, поэтому для надежной и объективной оценки уровня засухоустойчивости, а также ускорения селекционного процесса прибегают к косвенной оценке генотипов с помощью лабораторных физиологических методов. Всхожесть и другие параметры развития проростков являются распространенными критериями скрининга сортов пшеницы для выращивания в условиях дефицита влаги [12]. В то же время опыт работы физиологов позволяет прийти к выводу, что ни один из ныне существующих лабораторных методов в отдельности не может служить достаточно надежным критерием оценки засухоустойчивости из-за сложности и полигенности этого свойства растений, тем более что при этом не учитывается такая важная характеристика генотипа, как продуктивность. Наиболее надежна оценка по нескольким параллельно измеряемым показателям. Использование комплекса методов позволит оценивать не только различные стороны засухоустойчивости сортов на разных этапах развития растений, но и прогнозировать их урожайность.

Сложное сочетание таких противоречивых признаков, как засухоустойчивость и продуктивность, достигается при выявлении форм, способных к значительному усилению физиологических процессов. Изучение образцов мягкой яровой пшеницы из мирового генофонда ВИР является актуальным направлением селекционной работы, на этой основе создаются сорта, способные при одних и тех же ресурсах питания и влаги давать более высокие урожаи зерна.

Цель исследований – изучение продуктивности и уровня засухоустойчивости образцов мягкой яровой пшеницы, поступивших из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), для включения в рабочую коллекцию по селекции культуры в условиях Кировской области.

Научная новизна – для селекции мягкой яровой пшеницы в Кировской области выявлены высокопродуктивные и устойчивые к засухе (ранневесенней и летней) образцы из числа новых поступлений в мировую коллекцию ВИР.

Материал и методы. Полевые исследования проведены в 2019...2021 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектом изучения служили 73 образца мягкой яровой пшеницы из Австралии, Германии, Китая, Беларуси, Франции, Великобритании, Непала, а также 21 субъекта Российской Федерации, поступившие из ВИР в 2017 году. Стандартами служили среднеранний сорт Баженка (к-64870, Кировская обл., РФ) и среднеспелый сорт Маргарита (к-64851, Ульяновская обл., РФ).

Почва участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин. Агрохимические показатели: $pH_{\text{кол}} - 4,8$, содержание подвижного фосфора – 191, обменного калия – 130 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 2,02 % (по Тюрину). Обработка почвы включала ранневесеннее боронование, внесение минеральных удобрений ($N_{16}P_{16}K_{16}$ кг/га д. в.), предпосевную культивацию и послепосевное прикатывание. Посев коллекционного питомника проводили по чистому пару в оптимальные сроки с нормой высева 300 всхожих зерен/м². Фенологические наблюдения, оценку продуктивности и учет урожая осуществляли согласно методическим указаниям ВИР¹. Для оценки элементов структуры продуктивности с учетных площадок отбирали по 20 растений каждого сорта. Полевую засухоустойчивость образцов пшеницы определяли по степени депрессии урожайности (D) в засушливый (2021) год относительно оптимального (2019) по формуле²:

$$D = (100 - y/x) * 100 \%,$$

где y – значение признака при засухе,
 x – значение признака в оптимальных условиях произрастания.

¹Изучение коллекции пшеницы: методические указания. Сост. О. Д. Градчанинова, А. А. Филатенко, М. И. Руденко. Л.: ВИР, 1985. 27 с.

²Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Под ред. Г. В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 228 с.

Оценка потенциальной засухоустойчивости проведена в 2022 году лабораторным способом согласно методическому руководству ВИР³. Исследованием были охвачены образцы пшеницы, представляющие по результатам трехлетнего полевого изучения интерес как генетические источники на улучшение параметров продуктивности яровой пшеницы. Семена урожая 2021 года проращивали в чашках Петри при температуре 21-22 °С в течение 7 суток. В контроле использовали дистиллированную воду (0 атм.), в опыте (имитация ранневесенней засухи) – раствор сахарозы, соответствующий осмотическому давлению 6 атм. В обоих вариантах определяли процент прорастания семян и параметры проростка: число зародышевых корней и массу сухого вещества. По отношению одноименных признаков в опыте к контролю определяли группу потенциальной засухоустойчивости сортов: I – высокая (соотношение более 81 %); II – выше средней (от 61 до 80 %); III – средняя (от 41 до 60 %); IV – слабая (от 21 до 40 %); V – отсутствие устойчивости (менее 20 %).

Математическую обработку данных проводили методами корреляционного и дисперсионного анализов по Б. А. Доспехову⁴, вариационной статистики с использованием пакетов программ Agros 2.07 и Microsoft Excel 2016.

Результаты и их обсуждение. По данным Кировского центра по метеорологии и мониторингу окружающей среды, сумма эффективных температур (+10 °С и выше) в период с мая по август 2019 года составила 1220 °С, 2020 года – 1328 °С, 2021 года – 1635 °С, суммарное количество осадков соответствовало 256, 290 и 251 мм. Расчет гидротермического коэффициента по Г. Т. Селянинову позволил выявить достаточный уровень увлажненности в 2019 и 2020 годах (ГТК = 1,30 и 1,38 соответственно) и недостаток влаги в 2021 году (ГТК = 1,07).

Наиболее благоприятными для роста и развития растений мягкой яровой пшеницы сложились условия 2019 года: избыток осадков в период, предшествующий фазе «колошение», оказал положительное влияние на продуктивность колоса, биологическую и зерновую урожайность образцов. Средняя урожайность зерна в коллекционном питомнике (n = 73) составила 464,5 г/м² с пределами варьирования

значения признака от 151,8 г/м² (Hua Mai 10, Китай) до 714,4 г/м² (Bonpain, Франция). Начало вегетации растений пшеницы в 2020 году проходило при оптимальной температуре воздуха и высокой влагообеспеченности, что благоприятно отразилось на полевой всхожести семян и общей кустистости растений. Дефицит осадков в июне привел к снижению продуктивности раннеспелых сортов, а их избыточное количество в июле спровоцировало полегание растений и развитие листовых болезней. Средняя урожайность зерна сортов пшеницы составила 337,7 г/м² с пределами от 129,7 (Hong Mai 5, Китай) до 592,1 г/м² (Черноземоуральская 2, Воронежская обл., РФ). Вегетационный период в 2021 году характеризовался повышенными температурами воздуха, а иногда продолжительной жарой. Аномально теплая и сухая погода мая явилась причиной снижения полевой всхожести семян. Из-за дефицита осадков в период «выход в трубку-колошение» зерновая продуктивность образцов пшеницы оказалась низкой. Средняя урожайность сортов составила 186,5 г/м², варьируя от 35,0 г/м² (Hong Mai 5, Китай) до 380,9 г/м² (Курагинская 2, Красноярский кр., РФ).

Одной из причин снижения урожайности в засушливый 2021 год стало сокращение периода вегетации, влияющего на длительность сроков ассимиляции и налива зерна. Вегетационный период у сортов разных групп спелости составил 67...77 суток, в то время как в 2020 году его продолжительность была 75...86 суток, в 2019 – 97...110 суток. Длительность межфазного периода от всходов до колошения в 2021 году сократилась в среднем на 13 суток по сравнению с 2019 годом, от колошения до восковой спелости – на 21 сутки.

Величина урожая зерновых культур зависит главным образом от числа колосков, закладывающихся на выступах колосового стержня. Чем больше колосков, тем больше зерен в колосе и выше масса зерна с колоса. Эта зависимость нашла подтверждение в благоприятных условиях 2019 года: урожайность пшеницы коррелировала с длиной главного колоса ($r = 0,40$, при $p \leq 0,01$) и числом колосков в колосе ($r = 0,25$, при $p \leq 0,05$). Формирование колосков начинается в фазу «кущение» и в

³Определение относительной засухоустойчивости и жаростойкости образцов зерновых культур (пшеница, ячмень) способом проращивания семян в растворах сахарозы и после прогревания: методические указания. Сост. Н. Н. Кожушко, А. М. Волкова. Л., 1982. 19 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

значительной степени подвержено влиянию условий среды [13], а значит, обладает большой амплитудой изменчивости. При недостатке влаги происходит подавление ростовых процессов и уменьшение числа колосков. В жаркую и сухую погоду увеличивается риск фертильности цветков. По этим причинам снижаются количественные показатели растений и урожайность в целом. В засушливом 2021 году колосков и зерен с главного колоса ($n = 73$) образовалось на 14,3 и 12,9 % соответственно меньше, чем в благоприятных условиях 2019 года, масса зерна с главного колоса снизилась на 20,0 %. Депрессия урожайности в среднем по выборке сортов составила 59,8 %.

В условиях 2021 года из-за слабого развития верхнего междоузлия высота стебля достигла в среднем 58,9 см, что на 34,1 % меньше, чем в 2019 году. Преимущество по урожайности имели высокорослые генотипы: коэффициенты корреляции между урожайностью и высотой стебля, а также длиной верхнего междоузлия были значимы при $p \leq 0,01$ ($r = 0,62$ и $r = 0,56$ соответственно). Тесная связь урожайности и высоты стебля подтверждает тот факт, что в условиях Кировской области важнейшим условием продукционного процесса является накопление растениями биомассы [14]. На урожайность пшеницы значимое влияние (при $p \leq 0,01$) оказали длина

главного колоса ($r = 0,34$), масса зерна с главного колоса ($r = 0,41$) и растения ($r = 0,40$), масса 1000 семян ($r = 0,44$).

Практическая селекция яровой пшеницы в Кировской области ведется не столько на физиологическую засухоустойчивость, сколько на повышение продуктивности в условиях зоны [15]. По результатам 3-летнего полевого изучения коллекции пшеницы было выделено 23 образца – генетических источника селекционно-ценных признаков, представляющие интерес для улучшения культуры. Общая характеристика этих образцов дана в таблице 1.

Урожайность большинства представленных в таблице 1 образцов пшеницы находилась на уровне урожайности групповых стандартов, сорта сочетали оптимальную высоту стебля с устойчивостью к полеганию. Одни генотипы характеризовались высокими показателями элементов продуктивности колоса (Амир, Красноуфимская 100, Ингала, KWS Torridon), другие – крупнозерностью (Екатерина, Экада 70, Экада 109, Чайка, Dai Chun 2 и Dian 662-525-2). Все образцы пшеницы реагировали на засуху 2021 года снижением урожайности: депрессия признака находилась в пределах 28,9...78,7 %, у среднеранних образцов была выше, следовательно, ранние сорта сильнее реагировали на стресс, чем среднеспелые (рис.).

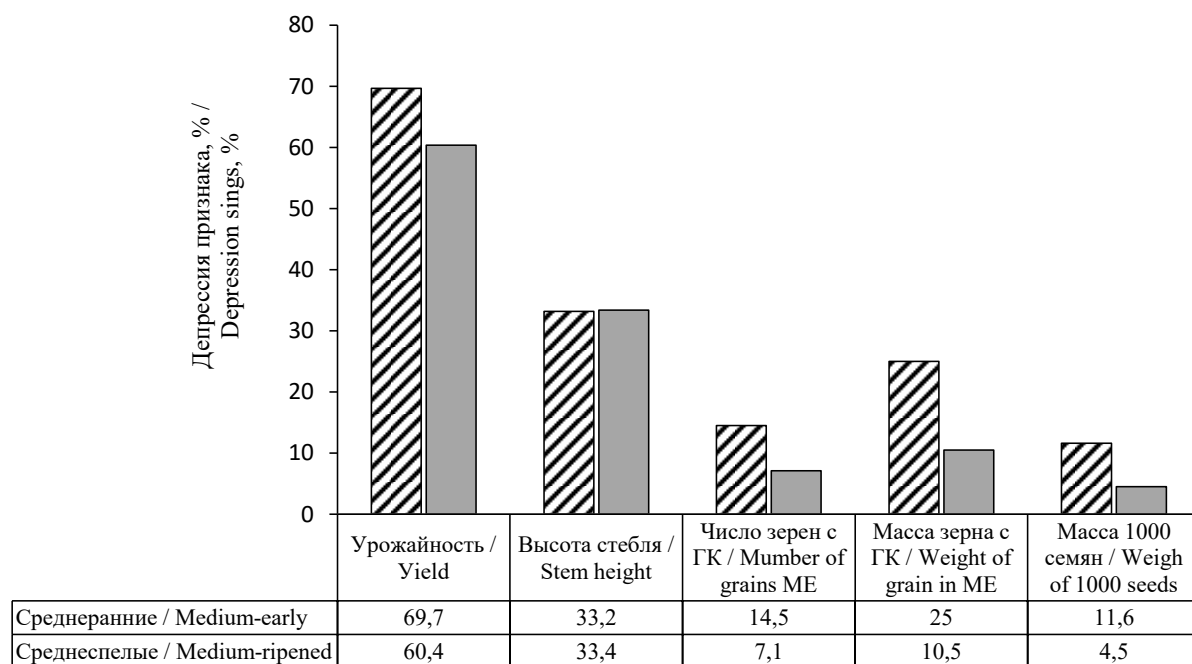


Рис. Депрессия урожайности и элементов структуры продуктивности образцов мягкой яровой пшеницы при недостатке влаги

Fig. Depression of yield and structural elements of productivity of soft spring wheat samples with a lack of moisture

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 1 – Образцы мягкой яровой пшеницы с ценными селекционными признаками (в среднем за 2019...2021 гг.)
Table 1 – Soft spring wheat samples with valuable breeding traits (average for 2019...2021)

| Название, происхождение, номер в каталоге ВИР / Name, origin, number in the VIR catalog | Урожай- ность, г/м² / Yield, g/m² | Элементы структуры продуктивности / Elements of the productivity structure | | | |
|---|--|---|---|---|--|
| | | высота стебля, см / stem height, cm | число зерен в ГК, шт. / number of grains ME*, pcs. | масса зерна с ГК, г / weight of grain in ME, g | масса 1000 семян, г / weight of 1000 seeds, g |
| Среднеранние / Medium-early | | | | | |
| Баженка, РФ, Кировская обл. – ст. / Bazhenka, Russia, Kirov reg., 64870 – st. | 322,4 | 73,4 | 34,6 | 1,42 | 40,67 |
| Екатерина, РФ, Свердловская обл. / Ekaterina, Russia, Sverdlovsk reg., 65477 | 407,8 | 84,7* | 28,4 | 1,36 | 46,40 |
| Зауралочка, РФ, Курганская обл. / Zau- ralochka, Russia, Kurgan reg., 66009 | 397,5 | 81,8 | 35,3* | 1,33 | 37,40 |
| Красноуфимская 100, РФ, Свердловская обл. / Krasnoufimskaya 100, Russia, Sverdlovsk reg., 64640 | 367,4 | 81,4 | 33,5 | 1,51 | 43,80 |
| Мона, Беларусь / Mona, Belarus | 400,0 | 67,0 | 27,6 | 1,21 | 43,70 |
| Чайка, Беларусь / Chayka, Belarus | 432,2 | 62,7 | 29,2 | 1,34 | 45,93 |
| Dai Chun 2, China, 65848 | 200,4 | 72,1 | 23,8 | 1,19 | 49,60* |
| Dian 662-525-2, China, 65849 | 195,4 | 59,2 | 18,2 | 0,89 | 47,90 |
| Eminent, Germany, 65989 | 371,2 | 71,4 | 31,5 | 1,19 | 37,60 |
| Среднее по группе / Group average | 343,8 | 72,6 | 29,1 | 1,27 | 43,67 |
| Среднепоздние / Medium-ripened | | | | | |
| Маргарита, РФ, Ульяновская обл. – ст. / Margarita, Russia, Ul'yanovsk reg., 64851 – st. | 385,5 | 84,6 | 31,0 | 1,51 | 47,99 |
| Амир, РФ, Московская обл. / Amir, Russia, Moscow reg., 64253 | 439,3 | 72,2 | 44,5* | 1,76 | 38,80 |
| Волошинка, РФ, Омская обл. / Voloshinka, Russia, Omsk reg., 66437 | 329,2 | 81,9 | 34,3 | 1,36 | 39,00 |
| Ингала, РФ, Тюменская обл. / Ingala, Russia, Tyumen reg., 66420 | 413,8 | 83,3 | 40,3* | 1,92* | 47,47 |
| РИМА, РФ, Московская, Рязанская обл. / RIMA, Russia, Ryazan, Moscow reg., 66259 | 370,5 | 84,6 | 35,5 | 1,57 | 44,13 |
| Тобольская, Russia, Алтайский кр. / Tobolskaya, Russia, Altay reg., 65846 | 473,3 | 87,9* | 31,0 | 1,39 | 44,53 |
| Тулайковская 10, Russia, Самарская обл. / Tulaykovskaya 10, Russia, Samara reg., 63714 | 349,6 | 82,6 | 34,1 | 1,38 | 41,73 |
| Ульяновская 105, РФ, Ульяновская обл. / Ulyanovskaya 105, Russia, Ulyanovsk reg., 66011 | 494,9 | 83,6 | 33,7 | 1,41 | 41,40 |
| Уралосибирская, РФ, Омская обл. / Uralosibirskaya, Russia, Omsk reg., 65244 | 431,2 | 85,6 | 31,4 | 1,45 | 46,23 |
| Экада 70, РФ, Ульяновская обл. / Ekada 70, Russia, Ulyanovsk reg., 64547 | 432,0 | 83,0 | 28,8 | 1,41 | 48,80* |
| Экада 109, РФ, Татарстан / Ekada 109, Russia, Tatarstan reg., 66239 | 418,8 | 86,4* | 30,7 | 1,49 | 48,07* |
| Bonpain, France, 65256 | 418,9 | 62,8 | 33,7 | 1,34 | 40,93 |
| Kanyuk, France, 66426 | 354,7 | 63,4 | 32,6 | 1,53 | 46,53 |
| KWS Torridon, Great Britain, 66273 | 370,8 | 57,7 | 41,1* | 1,65 | 40,07 |
| Melissos, Germany, 65261 | 402,2 | 61,8 | 36,8 | 1,49 | 40,47 |
| Naxos, Germany, 65262 | 344,2 | 60,0 | 34,2 | 1,44 | 40,87 |
| Среднее по группе / Group average | 401,8 | 76,3 | 33,6 | 1,54 | 43,56 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 138,1 | 9,4 | 6,2 | 0,32 | 4,44 |

Примечания: ГК – главный колос, * – значимое превышение к среднему по группе значению /
Notes: ME – the main ear, * – significant excess to the group average value

Исходя из данных рисунка, средняя групповая депрессия признаков «число зерен в главном колосе», «масса зерна с главного колоса» и «масса 1000 семян» у среднеспелых образцов оказалась в два и более раза ниже, чем у среднеранних. Связано это с тем, что у нескольких сортов среднеспелой группы (РИМА, Тобольская, Ульяновская 105, Экада 70) депрессия элементов продуктивности не превышала 5 %. Депрессия урожайности у выделенных генотипов была на уровне или ниже показателя стандарта Маргарита, что в комплексе может указывать на их относительную засухоустойчивость. В среднеранней группе депрессию урожайности на уровне стандарта Баженька показал сорт Екатерина. У остальных образцов потери урожайности были выше за счет сильного снижения параметров колоса и массы 1000 семян. Отмечалось, что крупнозерные сорта сильнее реагировали на стресс, чем мелкозерные (коэффициент корреляции между массой 1000 семян и депрессией признака в условиях засухи составил 0,72, при $p \leq 0,05$).

Лабораторный анализ образцов пшеницы позволил оценить их потенциальную засухоустойчивость по реакции на осмотический стресс в фазу проростков. Важно понимать, что

развитие проростков во многом определяется типом зародыша, крупностью и удельным весом семян [16]. Семена любого сорта – это популяция, в которой одна часть способна прорасти при более высоком осмотическом давлении, другая – при более низком и, чем больше в популяции первых семян, тем выше процент прорастания при конкретной концентрации осмотика. В нормальных условиях (0 атм.) величина признака варьировала от 78,9 (Melissos) до 100,0 % (Амир). Число зародышевых корней 1 проростка на седьмые сутки развития изменялось от 3,5 шт. (KWS Torridon) до 5,7 шт. (Тобольская), а масса сухого вещества проростка – от 11,1 мг (Экада 70) до 15,2 мг (Ингала). В стрессовых условиях (6 атм.) размах изменчивости признака «процент прорастания семян» составил 36,7...95,6 % (Экада 70 и Екатерина соответственно). Число зародышевых корней проростка изменялось от 1,38 до 4,31 шт. (Экада 70 и РИМА соответственно), масса сухого вещества проростка – от 0,91 до 4,59 мг (Экада 70 и Мона соответственно). Средние значения морфофизиологических параметров двух вариантов лабораторного исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние осмотического стресса на формирование физиологических параметров семян и проростков мягкой яровой пшеницы (n = 25)
Table 2 – Influence of osmotic stress on the formation of physiological parameters of seeds and seedlings of soft spring wheat (n = 25)

| Параметр / Parameter | Среднее значение параметра / The average value of the parameter | | Общая депрессия, % / General depression, % | Группа устойчивости / Sustainability group |
|--|--|-----------------|---|---|
| | 0 атм. / 0 atm. | 6 атм. / 6 atm. | | |
| Процент прорастания семян / Percentage of seed germination | 93,0 | 78,7 | 16 | I, II, III |
| Масса сухого вещества проростка, мг / Dry matter weight of the seedling, mg | 13,7 | 2,9 | 79 | IV, V |
| Число зародышевых корней, шт. / The number of seminal roots, pcs. | 4,6 | 3,1 | 33 | I, II, III, IV |

Соотношение одноименных показателей в опытном и контрольном вариантах позволило интегрировано подойти к определению уровня засухоустойчивости. По параметру «процент прорастания семян» образцы сформировали три группы – высокоустойчивые (16), устойчивые (8) и среднеустойчивые (1) (табл. 2). По параметру «масса сухого вещества» устойчивых образцов не обнаружено, 14 – характеризовались слабой устойчивостью, у 11 – она отсутствовала. По параметру «число зародышевых

корней» образцы сформировали наибольшее количество групп: высокоустойчивые (5), устойчивые (14), среднеустойчивые (4) и слабоустойчивые (2). Последний параметр, по нашему мнению, наиболее информативно характеризовал потенциальную засухоустойчивость, поскольку лучше дифференцировал сорта. Кроме того, в группах с более низким уровнем засухоустойчивости возрастала депрессия не только числа зародышевых корней, но и других изучаемых параметров (табл. 3).

Таблица 3 – Потенциальная засухоустойчивость образцов мягкой яровой пшеницы (по числу зародышевых корней в системе 6 атм. / 0 атм.)

Table 3 – Potential drought resistance of soft spring wheat samples (according to the number of seminal roots in the system of 6 atm. / 0 atm.)

| Группа / Group | Общая депрессия признаков / General depression of traits, % | | | Образцы / Varieties |
|--|--|--------------|--------------|--|
| | ЧЗК / NSR | МСВ / DMW | ППС / PSG | |
| Высокоустойчивые / Highly resistant (I) | 16,0 | 71,0 | 5,2 | Екатерина / Ekaterina, Красноуфимская 100 / Krasnoufimskaya 100, РИМА / RIMA, Уралосибирская / Uralosibirskaya, Dai Chun 2 |
| Устойчивые / Resistant (II) | 30,3 | 79,0 | 13,3 | Баженка / Bazhenka, Амир / Amir, Зауралочка / Zauralochka, Ингала / Ingala, Мона / Mona, Экада 109 / Ekada 109, Тулайковская 10 / Tulaykovskaya 10, Чайка / Chayka, Dian 662-525-2, Eminent, Kanyuk, KWS Torridon, Melissos, Naxos |
| Среднеустойчивые / Medium resistant (III) | 46,0 | 82,2 | 22,3 | Маргарита / Margarita, Волошинка / Voloshinka, Тобольская / Tobolskaya, Bonpain |
| Слабоустойчивые / Weakly resistant (IV) | 65,3 | 89,7 | 46,2 | Ульяновская 105 / Ulyanovskaya 105, Экада 70/ Ekada 70 |

Примечания: ЧЗК – число зародышевых корней проростка, МСВ – масса сухого вещества проростка, ППС – процент прорастания семян /

Notes: NSR – the number of seminal roots, DMW – dry matter weight of the seedling, PSG – percentage of seed germination

Все высокоустойчивые (табл. 3) и 10 устойчивых образцов (Амир, Баженка, Зауралочка, Ингала, Мона, Тулайковская 10, Экада 109, Чайка, Eminent и Kanyuk) в имитирующих почвенную засуху условиях показали высокий процент прорастания (более 85 % к контролю), что говорит о высокой сосущей силе семян данных сортов. Эта особенность обеспечила развитие мощной первичной корневой системы ($r = 0,77$) и проростка в целом ($r = 0,73$). Таким образом, устойчивость к засухе в фазу проростков (I и II группы) выявлена у всех среднеранних образцов, среднеспелые проявили разный уровень потенциальной засухоустойчивости (I-IV группы). Высоким уровнем характеризовались сорта РИМА и Уралосибирская, слабым – Ульяновская 105 и Экада 70. Причиной слабой устойчивости наравне с низкой сосущей силой семян могло стать наследственное свойство прорастать при большем, чем требовал эксперимент, количестве воды.

При анализе согласованности лабораторной и полевой оценок было обнаружено, что средне- и слабоустойчивые образцы пшеницы в фазу проростков обладали полевой засухоустойчивостью, а сорта с высокой потенциальной засухоустойчивостью характеризовались значительными потерями урожайности (табл. 4).

Объяснить это можно тем, что различные сорта включают механизмы засухоустойчивости на разных этапах онтогенеза. Устойчивые к ранневесенней засухе дружно всходят, хорошо укореняются, закладывают большое количество колосков в колосе, но при недостатке влаги в период «колошение-цветение» приостанавливают рост, вызывая шуплость зерновки. Устойчивые к летней засухе генотипы благополучно ее переносят благодаря сохранению выжившими растениями прироста корней, вегетативной и генеративной массы.

Заключение. Создаваемые в Кировской области сорта пшеницы должны сочетать устойчивость к засухе в засушливые годы с высокой потенциальной продуктивностью в оптимальных условиях увлажнения. Изучение по комплексу признаков образцов мягкой яровой пшеницы из последнего поступления в мировую коллекцию ВИР позволило выделить генетические источники для направленной селекции культуры в регионе. В селекции на устойчивость к ранневесенней засухе рекомендованы продуктивные среднеранние сорта Зауралочка (Курганская обл., РФ) и Чайка (Беларусь), среднеспелые – РИМА (Московская обл., Рязанская обл., РФ) и Уралосибирская (Омская обл., РФ). Следует отметить высокопродуктивные среднеспелые образцы пшеницы

Таблица 4 – Результаты полевой и лабораторной оценок засухоустойчивости образцов мягкой яровой пшеницы /

Table 4 – Results of field and laboratory assessments of drought resistance of soft spring wheat samples

| Образцы / Varieties | Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ² | | Депрессия урожайности (полевая оценка), % / Depression of yield (field assessment), % | Группа потенциальной засухоустойчивости (лабораторная оценка) / Potential drought resistance group (laboratory assessment) |
|---|--|---------|---|---|
| | 2019 г. | 2021 г. | | |
| Среднеранние / Medium-early | | | | |
| Баженка – ст. / Bazhenka – st. | 450,7 | 180,5 | 60,0 | II |
| Екатерина / Ekaterina | 561,6 | 224,1 | 61,0 | I |
| Зауралочка / Zauralochka | 628,9* | 213,4 | 66,1 | II |
| Красноуфимская 100 / Krasnoufimskaya 100 | 581,1 | 157,4 | 72,9 | I |
| Мона / Mona | 574,8 | 153,0 | 73,4 | II |
| Чайка / Chayka | 641,8* | 138,4 | 78,4 | II |
| Dai Chun 2 | 352,7 | 79,8 | 77,4 | I |
| Dian 662-525-2 | 310,9 | 89,9 | 71,1 | II |
| Eminent | 525,3 | 172,0 | 67,3 | II |
| Среднее по группе / Group average | 514,2 | 156,5 | 69,7 | - |
| Среднепоздние / Medium-late | | | | |
| Маргарита – ст. / Margarita – st. | 550,8 | 226,4 | 58,9 | III |
| Амир / Amir | 639,0 | 223,9 | 65,0 | II |
| Волошинка / Voloshinka | 442,0 | 104,1 | 76,5 | III |
| Ингала / Ingala | 567,6 | 200,7 | 64,6 | II |
| РИМА / RIMA | 544,9 | 235,0 | 56,9 | I |
| Тобольская / Tobolskaya | 514,9 | 336,1* | 28,9 | III |
| Тулайковская 10 / Tulaykovskaya 10 | 469,3 | 181,3 | 61,4 | II |
| Ульяновская 105 / Ulyanovskaya 105 | 588,2 | 388,0* | 42,5 | IV |
| Уралосибирская / Uralosibirskaya | 545,8 | 229,6 | 57,9 | I |
| Экада 70 / Ekada 70 | 608,0 | 302,3 | 50,3 | IV |
| Экада 109 / Ekada 109 | 522,1 | 294,3 | 43,6 | II |
| Вонрайн | 714,4 | 247,8 | 65,3 | III |
| Кануик | 520,9 | 111,1 | 78,7 | II |
| KWS Torridon | 559,9 | 139,7 | 75,1 | II |
| Melissos | 511,3 | 130,5 | 74,5 | II |
| Naxos | 450,4 | 155,6 | 65,5 | II |
| Среднее по группе / Group average | 546,8 | 219,2 | 60,4 | - |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 167,3 | 105,1 | - | - |

* Значимое превышение к групповому стандарту / * Significant excess to the group standard

Тобольская (Алтайский кр., РФ), Ульяновская 105 (Ульяновская обл., РФ) и Экада 109 (Татарстан, РФ) с низкой по выборке сортов депрессией урожайности при засухе (28,9...43,6 %). Данную

группу образцов лучше включать в селекцию на устойчивость к летней засухе. Сорт Экада 109 проявил засухоустойчивость в фазу проростков, что характеризует его как источник комплексной

засухоустойчивости. Из среднеранних образцов в рабочую коллекцию необходимо включить сорт Екатерина (Свердловская обл., РФ) с высо-

кой засухоустойчивостью в фазу проростков и равным со стандартом значением депрессии урожайности в засушливый год.

Список литературы

1. Вегрен С. К., Троцук И. В. Устойчиво ли промышленное сельское хозяйство в условиях климатических изменений и экологических угроз? *Экономическая социология*. 2020;21(5):12-38. DOI: <https://doi.org/10.17323/1726-3247-2020-5-12-38> EDN: ZCFFML
2. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Влияние засухи на хозяйственно ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2021;(3):25-35. DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_25 EDN: WIDLGV
3. Gupta P. K., Balyan H. S., Gahlaut V. QTL Analysis for drought tolerance in wheat: present status and future possibilities. *Agronomy*. 2017;7(1):5. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010005>
4. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Засухоустойчивость сортов яровой мягкой пшеницы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018;(12-2):49-52. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.046> EDN: YSUKIH
5. Румянцева Н. И., Валиева А. И., Акулов А. Н., Асхадуллин Дан. Ф., Асхадуллин Дам. Ф., Василова Н. З. Влияние засухи и высоких температур на урожайность и качество зерна фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы. *Биомика*. 2021;13(3):254-273. DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197bmcs/2021-17> EDN: SNHIMV
6. Khanna-Chopra R., Singh K. Drought resistance in crops: Physiological and genetic basis of traits for crop productivity. In: Tripathi B., Müller M. (eds) *Stress Responses in Plants*. Springer, Cham. 2015. pp. 267-292. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13368-3_11
7. Гречишкина О. С., Хутамбирдина Р. Д., Мордвинцев М. П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа. *Животноводство и кормопроизводство*. 2021;104(4):217-232. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217> EDN: HICWSI
8. Зуев Е. В., Брыкова А. Н., Новикова Л. Ю., Медведева Л. М., Темирбекова С. К. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в Центральной нечерноземной зоне РФ. *Вестник РАСХН*. 2014;(6):28-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22500448> EDN: SYJUWL
9. Кумаков В. А., Игошин А. П. Физиологические основы селекции зерновых культур на продуктивность в условиях засухи. *Физиологические основы селекции растений: сб. статей. С-Пб.: ВИР, 1995. С. 440-466.*
10. Волкова Л. В., Амунова О. С. Результаты оценки сортов яровой мягкой пшеницы различных агроэко-типов по признакам засухоустойчивости и донорским свойствам. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022;(1):27-42. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-1-27-42> EDN: HRXMET
11. Тамразов Т. Г. Влияние засухи на морфофизиологические показатели и показатели продуктивности изученных местных генотипов пшеницы. *Бюллетень науки и практики*. 2021;10(7):45-56. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06> EDN: TKSLJG
12. Бычкова О. В., Хлебцова Л. П., Совриков А. Б., Титова А. М. Реакция генотипов яровой твердой пшеницы в условиях моделированного осмотического и солевого стресса. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018;(2):5-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32508983> EDN: YQGPXM
13. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н. Озерненность, масса зерна колоса и масса 1000 зерен в повышении урожайности озимой мягкой пшеницы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015;(3):27-29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23828339> EDN: UBLIFT
14. Амунова О. С., Волкова Л. В., Зуев Е. В., Харина А. В. Исходный материал для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(5):661-675. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675> EDN: QALWGK
15. Волкова Л. В., Амунова О. С. Результаты изучения сортов яровой пшеницы на засухоустойчивость в Кировской области. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2018;(3):12-17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35780371> EDN: YCKAIX
16. Казакова А. С. Морфотипы зародыша семян твердых озимых пшениц как основа оценки эффективности агротехнологий. *Вестник аграрной науки Дона*. 2017;(1-1):35-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29059986> EDN: YLXXLR

References

1. Vegen S. K., Trotsuk I. V. Is industrial agriculture sustainable during climate change and ecological threats? *Ekonomicheskaya sotsiologiya* = Economic Sociology. 2020;21(5):12-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17323/1726-3247-2020-5-12-38>
2. Maltseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Kataeva N. V. The influence of drought on the economically valuable signs of spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe zone of the Kurgan region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2021;(3):25-35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_25

3. Gupta P. K., Balyan H. S., Gahlaut V. QTL Analysis for drought tolerance in wheat: present status and future possibilities. *Agronomy*. 2017;7(1):5. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010005>
4. Pakul V. N., Plisko L. G. Drought-resistance of varieties of spring soft wheat. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2018;(12-2):49-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.046>
5. Rumyantseva N. I., Valieva A. I., Akulov A. N., Askhadullin Dan. F., Askhadullin Dam. F., Vasilova N. Z. Drought and high temperatures effect on yield and grain quality of purple-grain lines of spring soft wheat. *Biomika = Biomics*. 2021;13(3):254-273. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197bmcs/2021-17>
6. Khanna-Chopra R., Singh K. Drought resistance in crops: Physiological and genetic basis of traits for crop productivity. In: Tripathi B., Müller M. (eds) *Stress Responses in Plants*. Springer, Cham. 2015. pp. 267-292. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13368-3_11
7. Grechishkina O. S., Khutambirdina R. D., Mordvintsev M. P. Amount and structure of grain yield of spring soft wheat varieties in various types of drought conditions. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):217-232. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217>
8. Zuev E. V., Brykova A. N., Novikova L. Yu., Medvedeva L. M., Temirbekova S. K. Initial material for breeding common spring wheat in Central non-chernozem zone of Russia. *Vestnik RASKhN*. 2014;(6):28-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22500448>
9. Kumakov V. A., Igoshin A. P. Physiological bases of selection of grain crops for productivity in drought conditions. *Physiological bases of plant breeding: coll. of art. Saint-Petersburg: VIR*, 1995. pp. 440-466
10. Volkova L. V., Amunova O. S. Results of evaluation of spring soft wheat varieties of various agro-ecotypes based on drought resistance and donor properties. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;(1):27-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-1-27-42>
11. Tamrazov T. G. The drought effect on morphophysiological parameters and crop performance indicators of the studied local wheat genotypes. *Byulleten' nauki i praktiki = Bulletin of Science and Practice*. 2021;10(7):45-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06>
12. Bychkova O. V., Khlebova L. P., Sovrikov A. B., Titova A. M. Reaction of spring durum wheat genotypes under the conditions of simulated osmotic and salt stresses. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;(2):5-11. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32508983>
13. Kovtun V. I., Kovtun L. N. Correlation of grain content in an ear, grain mass of one ear and mass of 1000 grains with soft winter wheat yields increase. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015;(3):27-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23828339>
14. Amunova O. S., Volkova L. V., Zuev E. V., Kharina A. V. Source for the breeding of soft spring wheat in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(5):661-675. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675>
15. Volkova L. V., Amunova O. S. The study results of spring wheat varieties for drought resistance in Kirov region. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2018;(3):12-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35780371>
16. Kazakova A. S. Morphotypes of the embryo of hard winter wheat seeds as the basis for evaluating the effectiveness of agricultural technologies. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2017;(1-1):35-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29059986>

Сведения об авторах

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

Мамаева Анастасия Владимировна, магистрант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6259-1959>

Information about the authors

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

Anastasiya V. Mamaeva, master's student, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6259-1959>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние погодных условий на изменчивость селекционно ценных признаков сортов озимой ржи в условиях Кировской области

© 2023. Н. А. Набатова ✉, Е. И. Уткина, Е. А. Псарева

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

Многолетние результаты исследований по влиянию погодных условий на формирование хозяйственно-биологических и технологических признаков сортов озимой ржи являются ценными для дальнейшего использования в практической селекции, а также в решении вопроса реализации их биологического потенциала в широком диапазоне почвенно-климатических факторов. Цель исследований – оценить влияние метеоусловий на изменчивость урожайности, хозяйственно-биологических признаков и хлебопекарных свойств 10 сортов озимой ржи различного географического происхождения для последующего создания сортов, приспособленных к условиям Кировской области. В результате восьмилетних исследований (2015–2022 гг.) была проанализирована вариабельность 19 хозяйственно-биологических и технологических признаков в различных погодно-климатических условиях (индекс условий среды от +1,44 до -1,39). К высокостабильным признакам относились натура зерна, плотность колоса и относительная продуктивность колоса ($CV = 1-8\%$). Наименее стабильными признаками являлись урожайность и зимостойкость ($CV = 75-89\%$). Анализ вариабельности признаков по сортам выявил наиболее адаптированные к изменению погодных условий – Рушник, Фаленская 4, Флора, Алиса (от 2-3 до 38-42 %). Для оценки влияния признаков на формирование урожайности был использован метод главных компонент с визуализацией на биплоте. Выявлено, что урожайность в большей степени зависела от массы 1000 зерен, поражения снежной плесенью, зимостойкости, устойчивости к полеганию, длины и массы колоса, количества колосков и зерен в колосе, массы зерна с колоса и растения, относительной продуктивности колоса. Эти признаки определяли 65,9 % изменчивости урожайности. Второй биплот-анализ позволил выявить наиболее стабильные сорта за 8 лет изучения – Рушник, Фаленская 4, Флора и Алиса. Установлено, что сорт озимой ржи Алиса реализует свой потенциал урожайности как в годы с оптимальными условиями вегетации, так и в условиях избыточного увлажнения, но отличается от сортов Фаленская 4, Флора и Рушник высокой продуктивностью колоса и может быть использован в качестве исходного материала для селекции.

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), селекция, урожайность, коэффициент вариации, влияние условий, корреляция, метод главных компонент

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).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Набатова Н. А., Уткина Е. И., Псарева Е. А. Влияние погодных условий на изменчивость селекционно ценных признаков сортов озимой ржи в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):549-561. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.549-561>

Поступила: 27.03.2023

Принята к публикации: 03.08.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Influence of weather conditions on variability of breeding valuable characteristics of winter rye varieties in Kirov region

© 2023. Natalia A. Nabatova ✉, Elena I. Utkina, Ekaterina A. Psareva

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

Long-term results of the research on the influence of weather conditions on the formation of economically biological and technological characteristics of winter rye varieties are valuable for further use in practical breeding, as well as in solving the problem of realizing their biological potential in a wide range of soil and climatic factors. The aim of the research was to evaluate the influence of weather conditions on the variability of yield, economically biological characteristics and baking properties of 10 winter rye varieties of different geographical origin for the subsequent creation of varieties adapted to the conditions of Kirov region. As a result of eight years of research (2015–2022), the variability of 19 biological and technological characters was analyzed in different weather and climatic conditions (index of environmental conditions from +1.44 to -1.39). The highly stable characteristics were grain nature, ear density and relative ear productivity ($CV = 1-8\%$). The least stable traits were yield and winter hardiness ($CV = 75-89\%$). Analysis of variability of characteristics by varieties revealed the most adapted to changes in weather conditions varieties - Rushnik, Falenskaya 4, Flora, Alisa (from 2-3 to 38-42 %). The principal component method with visualization on a biplot chart was used to assess the influence of characteristics on yield formation. It was revealed that the yield was more dependent on the weight of 1000 grains, snow mold damage, winter hardiness, resistance to lodging, length and weight of the ear, number of spikelets and grains in the ear, weight of grain per ear and plant, relative productivity of the ear. These traits determined 65.9 % of yield variability. The second biplot chart allowed to identify the most stable varieties for 8 years of study – Rushnik, Falenskaya 4, Flora and Alisa. It was found that the variety of winter rye Alisa realizes its yield

potential both in years with optimal conditions of vegetation and in conditions of excessive moisture, but differs from the varieties Falenskaya 4, Flora and Rushnik in high ear productivity and can be used as a source material for breeding.

Keywords: Winter rye (*Secale cereale* L.), breeding, yield, coefficient of variation, influence of conditions, correlation, principal component method

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 FNWE-2022-0007).

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: Nabatova N. A., Utkina E. I., Psareva E. A. Influence of weather conditions on variability of breeding valuable characteristics of winter rye varieties in Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):549-561. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.549-561>

Received: 27.03.2023

Accepted for publication: 03.08.2023

Published online: 30.08.2023

В Кировской области озимая рожь является важной зерновой культурой благодаря высокой зимостойкости, выносливости к почвенной засухе, алюмо- и кислотоустойчивости, а также способности произрастать на почвах разного уровня плодородия [1, 2]. Создание новых, более совершенных сортов является главной целью селекционной работы. В настоящее время селекцией озимой ржи занимаются 14 научных учреждений Российской Федерации [3]. Количество районированных сортов растет. В 2012 г. в Государственном реестре селекционных достижений было зарегистрировано 63 сорта озимой ржи, в 2019 г. – 83, к 2022 г. количество сортов увеличилось до 91. Несмотря на это, современные сорта зачастую несовершенны. Селекция на повышение урожайности сортов озимой ржи часто приводит к снижению их адаптивных свойств и наоборот. Это связано с тем, что урожайность сорта и его устойчивость к неблагоприятным условиям среды нередко находятся в отрицательной корреляции. Поэтому важен компромисс между способностью сорта формировать высокую урожайность и его устойчивостью к стрессовым факторам [3, 4].

На урожайность озимой ржи значительное влияние оказывает гидротермический режим. По литературным данным, зависимость урожайности от погодных условий в отдельные годы может достигать 50 % [5]. В условиях северного земледелия посевы озимой ржи зачастую находятся под воздействием неблагоприятных погодных факторов, которые приводят к снижению зимостойкости, продуктивности растения, колоса и крупности зерна. В процессе селекционной работы предпочтение отдается исходному материалу, а в производстве – сортам, сочетающим устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды с урожайностью [6].

Цель исследований – оценить влияние погодных условий на изменчивость урожайности, хозяйственно-биологических и технологических признаков сортов озимой ржи в условиях центральной зоны Кировской области.

Новизна исследований – изучена реакция сортов озимой ржи на изменения условий внешней среды с использованием метода главных компонент (РСА). Проведена оценка влияния условий года и генотипа на основные хозяйственно ценные признаки и их вариабельность.

Материал и методы. Экспериментальная часть работы проведена на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в 2015-2022 гг. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, сформированная на мергелизованных пермских глинах. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса – 1,37 %; содержание подвижного фосфора – 190 мг/кг; обменного калия – 221 мг/кг почвы; pH солевой вытяжки – 4,0.

Объектом для исследований являлись 10 сортов озимой ржи отечественной селекции: Фаленская 4 (стандарт), Рушник, Флора (селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока); Крона (ФИЦ «Немчиновка»); Памяти Кунакбаева (ФГБНУ Башкирский НИИСХ); Антарес, Безенчукская 87 (ФГБНУ Самарский НИИСХ); Алиса, Янтарная (ФГБНУ Уральский НИИСХ); Саратовская 7 (ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока).

Опыт заложен рандомизированным методом в трех повторениях, на делянках с учетной площадью 5 м². Полевые оценки и учет урожая проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Структурный анализ элементов урожайности выполняли в лаборатории у 5 растений каждого сорта в трех повторениях по следующим показателям: длина и масса колоса; число колосков и зерен в колосе; масса зерна с колоса;

¹Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. 269 с.

масса зерна и количество зерен с растения; через зерница; масса 1000 зерен. Отбор проб и выделение навески зерна проводили по ГОСТ 13586.3-2015², влажность зерна определяли по ГОСТ 13586.5-2015³. Размол зерна проводили на лабораторной мельнице Perten LM 3100. Число падения определяли по методу Хагберга-Пертена (ГОСТ ISO 3093-2016⁴) на приборе Falling Number 1900, натуру – по ГОСТ 10840-2017⁵ на пурке литровой ПХ-1М. Плотность колоса и относительная продуктивность колоса являются расчетными показателями. Их вычисляли по формулам:

$$\text{Плотность колоса, шт./10 см} = \frac{\text{Количество колосков в колосе, шт.}}{\text{Длина колоса, см}} \cdot 10. \quad (1)$$

$$\text{Относительная продуктивность колоса} = \frac{\text{Масса зерна с колоса, г}}{\text{Масса колоса, г}}. \quad (2)$$

Индекс условий среды (I_j) рассчитывали по методике С. А. Эберхарта и У. А. Рассела (S. A. Eberhart, W. A. Russell) в изложении В. З. Пакудина [7]; гидротермический коэффициент (ГТК) – по методике Г. Т. Селянинова⁶. Статистическая обработка (дисперсионный, корреляционный анализ и метод главных компонент) проведена с использованием надстроек AgCStat и XLSTAT в Microsoft Office Excel 2016.

Результаты и обсуждение. Основными факторами, обуславливающими уровень урожайности озимой ржи, являются: сроки посева, климатические условия осенне-зимнего и весенне-летнего вегетационных периодов, а также степень развития растений перед уходом в зиму. Условия осенней вегетации 2015-2022 гг. были удовлетворительными для закалки растений и накопления питательных веществ: устойчивый рост средней температуры воздуха в сентябре-октябре привел к смещению сроков осенней вегетации на 5-10 дней.

Зимние условия в годы исследований были весьма специфичны и варьировали от относительно благоприятных до критических.

Особенно негативное влияние оказывали январские оттепели, которые стали обычным явлением в последние годы: за 8 лет изучения только январь 2019 г. и 2022 г. отличались стабильно отрицательной температурой воздуха. Высокие температуры при мощном снеговом покрове в зимний период приводят к повышению температуры на глубине залегания узла кущения, ослаблению растений, выпреванию и развитию снежной плесени (*Microdochium nivale* (Fr.) Ces.) [2]. Способность растений озимой ржи к регенерации после поражения снежной плесенью обуславливает их зимостойкость в условиях Кировской области [8]. Высокая зимостойкость определяется не только благоприятными условиями перезимовки, но и генотипом [9]. Максимальная зимостойкость в опыте (5 баллов) отмечена в разные годы у сортов Флора (2017, 2019, 2021 гг.) и Рушник (2021 г.). Сорты, неадаптированные к условиям центральной зоны Кировской области, в отдельные годы практически полностью погибали (балл зимостойкости сорта Саратовская 7 в 2016 г. – 0,2).

Формирование вегетативных и репродуктивных органов растений, а также продуктивность озимой ржи, зависят от погодных условий в период активной весенне-летней вегетации. Условия апреля являются своеобразным стартом для дальнейшего развития растений и закладки будущего урожая зерна. При теплой, сухой и солнечной погоде замедляется развитие инфекции, снижается распространение и интенсивность поражения растений снежной плесенью. Затяжное таяние снега, пасмурная, холодная погода, наоборот, провоцируют развитие болезни и замедляют развитие озимых.

По данным метеорологической станции г. Кирова, апрель характеризовался довольно неустойчивой по температурному режиму погодой (табл. 1) и повышенной влажностью.

Более теплые месяцы май-июль 2015-2022 гг. также различались по температурному режиму и количеству осадков (табл. 1, рис. 1).

²ГОСТ 13586.3-015. Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Стандартинформ, 2019. 17 с.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/60669/>

³ГОСТ 13586.5-2015. Зерно. Метод определения влажности. М.: Стандартинформ, 2019. 24 с.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/60687/>

⁴ГОСТ ISO 3093-2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с. URL: <https://rags.ru/gosts/gost/63781/>

⁵ГОСТ 10840-2017. Зерно. Метод определения натуры. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.

URL: <https://rags.ru/gosts/gost/65484/>

⁶Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Мировой агроклиматический справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5-29.

Таблица 1 – Среднесуточная температура воздуха весенне-летнего вегетационного периода и ее отклонение от нормы (г. Киров) /

Table 1 – Average daily air temperature in the spring-summer vegetation period and its deviation from the norm (Kirov)

| Год исследований / Years of research | Температура, °C / Temperature, °C | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|---|----------------------|---|----------------------|--|----------------------|---|
| | апрель / april | | май / may | | июнь / june | | июль / july | |
| | среднее / average | ± от средней многолетней / ± from the long-term average | среднее / average | ± от средней многолетней / ± from the long-term average | среднее / average | ± от средней многолетней / ± from the long- term average | среднее / average | ± от средней многолетней / ± from the long-term average |
| 2015 | 3,7 | -0,3 | 15,0 | +3,7 | 18,9 | +2,5 | 15,6 | -3,3 |
| 2016 | 6,2 | +2,2 | 14,0 | +2,7 | 16,3 | -0,1 | 20,8 | +1,9 |
| 2017 | 2,0 | -2,0 | 7,6 | -3,7 | 13,5 | -2,9 | 17,6 | -1,3 |
| 2018 | 2,6 | -1,4 | 11,6 | +0,3 | 14,1 | -2,3 | 20,6 | +1,7 |
| 2019 | 3,8 | -0,2 | 13,6 | +2,3 | 15,9 | -0,5 | 16,0 | -2,9 |
| 2020 | 2,1 | -1,9 | 12,2 | +0,9 | 15,1 | -1,3 | 20,5 | +1,6 |
| 2021 | 5,2 | +1,1 | 15,0 | +3,1 | 19,6 | +3,2 | 19,2 | +0,3 |
| 2022 | 4,0 | -0,1 | 8,5 | -3,4 | 16,1 | -0,3 | 20,0 | +1,1 |

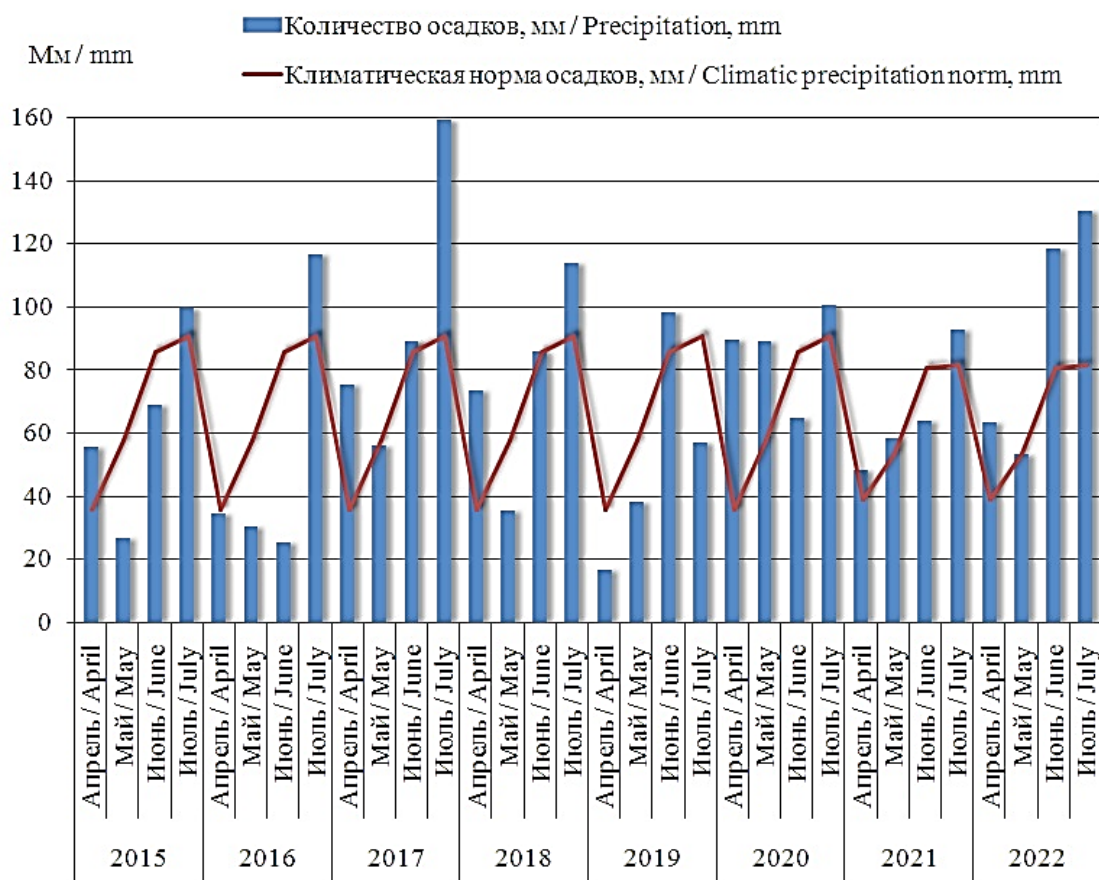


Рис. 1. Сумма осадков весенне-летнего вегетационного периода и ее отклонение от нормы (г. Киров) /

Fig. 1. Sum of precipitation of the spring-summer vegetation period and its deviation from the norm (Kirov)

Весенне-летние вегетационные периоды 2017 и 2022 гг. отличались избыточным увлажнением ($ГТК_{\text{мая-июля}} = 2,1-2,2$). В 2015, 2018-2021 гг. наблюдали оптимальное сочетание тепла и влаги ($ГТК_{\text{мая-июля}} = 1,2-1,6$). Засушливые условия были отмечены в мае-июне 2016 г. (29-52 % осадков от месячной нормы), однако сумма осадков июля 2016 г. превысила норму на 28 %, поэтому значение $ГТК_{\text{мая-июля}}$ 2016 г. в целом было оптимальным (1,1). Неустойчивые погодные условия наблюдались в мае: варьирование среднесуточной температуры мая за годы исследований составило 23 %. В 2017 г. отмечено максимальное отклонение среднесуточной температуры мая – на $3,7^{\circ}\text{C}$ ниже нормы. Июнь и июль отличались более стабильным температурным режимом: варьирование среднесуточных температур этих месяцев находилось на среднем уровне ($CV = 11-13\%$). Дефицит осадков за годы исследований наблюдался преимущественно в мае (2015, 2016, 2018 и 2019 гг. – 45-65 % от нормы) и июне (2015, 2016, 2020 и 2021 гг. – 29-79 %), тогда как в июле, за исключением 2019 г., было отмечено избыточное увлажнение (от 109 до 175 % от нормы).

Анализ погодных условий за 8 лет исследований позволил выделить 2017 г., период вегетации которого характеризовался избыточным увлажнением (96-175 % от нормы) и невысокой температурой воздуха (отклонение от среднегодового значения: $-3,7...-1,3^{\circ}\text{C}$), а также 2016 г., когда засушливые условия мая и июня оказали неблагоприятное воздействие на рост и развитие растений озимой ржи.

Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности сложились в 2015 г. ($I_j = 1,44$; средняя урожайность в опыте – 4,22 т/га) и 2022 г. ($I_j = 0,93$; средняя урожайность в опыте – 3,71 т/га). Неблагоприятные условия в 2016 г. ($I_j = -1,39$), связанные с недостатком влагообеспеченности в мае-июне, привели к снижению средней урожайности на 67 % (1,39 т/га) по сравнению с предыдущим 2015 г.

В среднем за восемь лет изучения сортов озимой ржи Флора и Фаленская 4 достоверно превысили среднее значение урожайности по опыту (на 0,97 и 0,86 т/га соответственно). Достоверно низкая урожайность отмечена у сортов Безенчукская 87 и Саратовская 7 (на 0,81-0,92 т/га ниже среднего значения по опыту) (табл. 2). При анализе сортов озимой ржи

большое внимание необходимо уделять не только урожайности, но и элементам структуры урожая, биологическим и хозяйственным свойствам растений, качеству зерна.

Изучаемые сорта достоверно превышали средний показатель по опыту по ряду хозяйственно-биологических и технологических признаков. По зимостойкости выделены сорта Фаленская 4 и Флора (4,4-4,7 балла), по крупности зерна – Памяти Кунакбаева, Антарес и Безенчукская 87 (35,3-39,1 г), по короткостебельности – Саратовская 7 (106 см), по продуктивности колоса – Алиса и Янтарная (> 2 г), сорт с высоким числом падения – Рушник (193 с), сорта с высокой натурной массой – Янтарная и Саратовская 7 (724 г/л). Сорт-стандарт Фаленская 4 находился по большинству изучаемых признаков на уровне среднего значения в опыте.

Вариабельность хозяйственно-биологических признаков по сортам сильно различалась (табл. 3). Максимальный размах изменчивости сортов (от 6 до 71 %) наблюдали по признаку «зимостойкость». Высокое варьирование сортов отмечено по урожайности – от 25 % (Рушник) до 78 % (Саратовская 7). Большим изменениям под влиянием погодных условий подвержен показатель «число падения» ($CV = 35-48\%$). В целом, наибольшей изменчивостью хозяйственно-биологических и технологических характеристик в опыте отличались сорта Безенчукская 87, Саратовская 7 и Антарес (от 2-3 до 59-78 %); наименьшей – Фаленская 4, Рушник, Флора, Алиса (от 2-3 до 38-42 %), что обеспечивается высокой адаптивностью последних к условиям Северо-Восточного региона.

Анализ основных селекционно-ценных признаков озимой ржи в течение 8 лет позволил определить их вариабельность в различные по погодным условиям годы (табл. 4).

К наиболее стабильным признакам можно отнести натуру зерна ($CV = 1-4\%$), относительную продуктивность колоса ($CV = 1-8\%$) и плотность колоса ($CV = 2-6\%$). Наибольшей изменчивостью характеризовалась урожайность ($CV = 7-75\%$) и зимостойкость ($CV = 4-89\%$). За 8 лет исследований максимальное варьирование урожайности и зимостойкости отмечено в неблагоприятный засушливый 2016 г. (75 и 89 % соответственно). Наибольшее варьирование показателей элементов структуры урожая наблюдали в холодный и влажный 2017 г. ($CV = 16-37\%$).

Таблица 2 – Хозяйственно-биологическая и технологическая характеристика сортов озимой ржи (г. Киров, в среднем за 2015–2022 гг.) /
Table 2 – Economically biological and technological characteristics of winter rye varieties (Kirov, average for 2015-2022)

| Показатель / Parameter | Фален- ская 4, ст. / Falen- skaya 4, st. | Рушник / Rushnik | Флора / Flora | Крона / Krona | Памяти Кунабаева / Ramutai Kunakbayeva | Антарес / Antares | Безен- чукская 87 / Bezen- chukskaya 87 | Алиса / Alisa | Янтарная / Yantarnaya | Сара- товская 7 / Saratov- skaya 7 | \bar{x} | НСР ₀₅ / LSD ₀₅ |
|--|---|---------------------|------------------|------------------|---|----------------------|--|------------------|--------------------------|---|-----------|--|
| Урожайность, т/га / Yield, t/ha | 3,64* | 3,50 | 3,75* | 2,45 | 2,55 | 2,31 | 1,97 | 3,06 | 2,70 | 1,86 | 2,78 | 0,76 |
| Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g | 28,3 | 27,2 | 27,5 | 32,8 | 35,6* | 35,3* | 37,5* | 33,0 | 34,1 | 39,1* | 33,0 | 2,1 |
| Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pcs. | 4,5 | 5,3 | 4,2 | 4,6 | 4,6 | 5,3 | 4,7 | 4,2 | 4,4 | 4,2 | 4,6 | NS |
| Поражение снежной плесенью, % / Snow mold infection, % | 94 | 98 | 96 | 91 | 72 | 69 | 68 | 83 | 88 | 83 | 84 | NS |
| Зимостойкость, балл / Winter hardiness, points | 4,4* | 4,2 | 4,7* | 3,0 | 3,3 | 3,0 | 2,6 | 3,6 | 3,1 | 2,5 | 3,4 | 0,9 |
| Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, points | 3,8 | 3,8 | 3,9 | 3,7 | 3,4 | 3,1 | 3,1 | 3,6 | 4,1 | 3,8 | 3,6 | NS |
| Высота растений, см / Height of plants, cm | 126 | 127 | 126 | 119 | 125 | 125 | 127 | 133 | 129 | 106* | 124 | 6 |
| Масса колоса, г / Ear weight, g | 1,95 | 1,77 | 1,64 | 2,22 | 2,23 | 2,07 | 1,97 | 2,42* | 2,48* | 2,08 | 2,08 | 0,24 |
| Длина колоса, см / Ear length, cm | 11,0 | 11,0 | 10,8 | 10,7 | 10,7 | 9,6 | 9,0 | 11,6* | 12,0* | 8,2 | 10,5 | 0,7 |
| Количество колосков в колосе, шт. / Number of spikelets in an ear, pcs. | 32 | 32 | 32 | 32 | 31 | 29 | 26 | 35* | 35* | 24 | 31 | 2 |
| Количество зерен в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pcs. | 53 | 52 | 50 | 52 | 51 | 46 | 42 | 58* | 57* | 40 | 50 | 4,5 |
| Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g | 1,63 | 1,44 | 1,35 | 1,82 | 1,81 | 1,67 | 1,63 | 2,03* | 2,02* | 1,67 | 1,71 | 0,20 |
| Количество зерен с растения, шт. / Number of grains per plant, pcs. | 208 | 284 | 195 | 241 | 235 | 216 | 181 | 232 | 223 | 184 | 220 | NS |
| Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g | 6,09 | 7,54 | 4,98 | 7,26 | 7,06 | 6,93 | 6,35 | 7,82 | 7,18 | 6,80 | 6,80 | NS |
| Относительная продуктивность колоса / Relative ear productivity | 0,84 | 0,81 | 0,82 | 0,82 | 0,81 | 0,80 | 0,82 | 0,84 | 0,82 | 0,80 | 0,82 | NS |
| Плотность колоса, шт/10 см / Density of ear, pcs/10 cm | 29 | 29 | 30 | 30 | 29 | 30 | 29 | 30 | 30 | 29 | 30 | NS |
| Черезерница, % / Incomplete setting of grains, % | 15,9 | 16,0 | 19,7 | 16,2 | 15,2 | 16,9 | 15,2 | 14,5 | 17,2 | 15,0 | 16,2 | NS |
| Число падения, с / Falling number, s | 149 | 193* | 155 | 148 | 138 | 126 | 123 | 144 | 119 | 112 | 141 | 24 |
| Натура, г/л / Nature, g/l | 704 | 696 | 700 | 692 | 686 | 710 | 708 | 698 | 724* | 724* | 704 | 12,5 |

Примечания: * значительно относительно среднего значения по опыту при $p \leq 0,05$, NS – нет достоверных различий /
Notes: * significant relative to the average of the experiment at $p \leq 0,05$; NS – no significant differences

Таблица 3 – Изменчивость хозяйственно-биологических и технологических признаков по сортам озимой ржи (CV, %) (2015-2022 гг.) /
Table 3 – Variability of economically biological and technological characteristics in winter rye varieties (CV, %) (2015-2022)

| Показатель / Parameter | Фаленская 4, ст. / Falenskaya 4, st. | Рушник / Ruzhnik | Флора / Flora | Крона / Kropa | Памяти Кунабаева / Ramul'i Kunakbayeva | Амтарес / Amtares | Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87 | Алиса / Alisa | Янтарная / Yantarnaya | Саратовская 7 / Saratovskaya 7 |
|--|---|------------------|---------------|---------------|---|-------------------|--|---------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Урожайность / Yield | 29 | 25 | 31 | 40 | 41 | 60 | 59 | 35 | 45 | 78 |
| Масса 1000 зерен / Weight of 1000 grains | 12 | 12 | 10 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 13 | 16 |
| Продуктивная кустистость / Productive bushiness | 30 | 28 | 20 | 26 | 24 | 27 | 28 | 17 | 21 | 21 |
| Поражение снежной плесенью / Snow mold infection | 8 | 4 | 5 | 25 | 39 | 48 | 53 | 29 | 26 | 34 |
| Зимостойкость / Winter hardiness | 6 | 18 | 6 | 42 | 38 | 53 | 58 | 25 | 45 | 71 |
| Устойчивость к полеганию / Lodging resistance | 18 | 19 | 27 | 27 | 21 | 29 | 28 | 18 | 17 | 32 |
| Высота растений / Height of plants | 13 | 13 | 12 | 12 | 17 | 16 | 16 | 13 | 13 | 23 |
| Масса колоса / Ear weight | 13 | 16 | 22 | 18 | 19 | 19 | 19 | 14 | 14 | 20 |
| Длина колоса / Ear length | 4 | 7 | 11 | 5 | 8 | 7 | 11 | 10 | 5 | 12 |
| Количество колосков в колосе / Number of spikelets in an ear | 8 | 6 | 11 | 7 | 8 | 9 | 11 | 8 | 6 | 10 |
| Количество зерен в колосе / Number of grains in an ear | 6 | 7 | 13 | 7 | 15 | 17 | 15 | 8 | 6 | 13 |
| Масса зерна с колоса / Grain weight per ear | 13 | 15 | 22 | 19 | 20 | 22 | 21 | 17 | 14 | 20 |
| Количество зерен с растения / Amount of grains per plant | 28 | 40 | 29 | 52 | 30 | 23 | 36 | 26 | 21 | 23 |
| Масса зерна с растения / Grain weight per plant | 34 | 42 | 41 | 41 | 26 | 15 | 31 | 31 | 23 | 19 |
| Относительная продуктивность колоса / Relative ear productivity | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 10 | 2 | 4 |
| Плотность колоса / Density of ear | 6 | 4 | 6 | 7 | 7 | 8 | 4 | 6 | 5 | 5 |
| Череззерница / Incomplete setting of grains | 34 | 9 | 30 | 19 | 48 | 37 | 59 | 28 | 26 | 33 |
| Число падения / Falling number | 41 | 35 | 35 | 44 | 39 | 46 | 48 | 38 | 38 | 38 |
| Натура / Nature | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |

Таблица 4 – Изменчивость хозяйственно-биологических и технологических признаков в разные по погодным условиям годы (CV, %) /

Table 4 – Variability of economically biological and technological characteristics in different weather years (CV, %)

| Показатель / Parameters | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. |
|--|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | индекс условий среды / index of environmental conditions | | | | | | | |
| | 1,44 | -1,39 | 0,20 | 0,10 | -0,23 | -0,36 | -0,72 | -0,93 |
| Урожайность / Yield | 13 | 75 | 16 | 47 | 66 | 7 | 33 | 26 |
| Масса 1000 зерен / Weight of 1000 grains | 15 | 17 | 11 | 12 | 8 | 17 | 15 | 14 |
| Продуктивная кустистость / Productive bushiness | 11 | - | 19 | 17 | 22 | 15 | 19 | 21 |
| Поражение снежной плесенью / Snow mold infection | 29 | 6 | 0 | 6 | 0 | 57 | 20 | 57 |
| Зимостойкость / Winter hardiness | 4 | 89 | 9 | 39 | 66 | 10 | 28 | 32 |
| Устойчивость к полеганию / Lodging resistance | 6 | 26 | 28 | 12 | 29 | 15 | 5 | 19 |
| Высота растений / Height of plants | 7 | 11 | 4 | 8 | 11 | 6 | 8 | 6 |
| Масса колоса / Ear weight | 16 | 16 | 25 | 10 | 17 | 15 | 16 | 19 |
| Длина колоса / Ear length | 12 | 13 | 16 | 11 | 14 | 11 | 11 | 13 |
| Количество колосков в колосе / Number of spikelets in an ear | 12 | 13 | 17 | 12 | 13 | 13 | 12 | 13 |
| Количество зерен в колосе / Number of grains in an ear | 13 | 13 | 24 | 13 | 13 | 14 | 10 | 14 |
| Масса зерна с колоса / Grain weight per ear | 16 | 17 | 26 | 9 | 19 | 15 | 15 | 18 |
| Количество зерен с растения / Number of grains per plant | - | - | 37 | 24 | 28 | 20 | 24 | 26 |
| Масса зерна с растения / Grain weight per plant | - | - | 34 | 19 | 27 | 16 | 34 | 22 |
| Относительная продуктивность колоса / Relative ear productivity | 1 | 8 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 |
| Плотность колоса / Density of ear | 6 | 2 | 6 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| Череззерница / Incomplete setting of grains | 37 | 21 | 34 | 34 | 28 | 24 | 23 | 32 |
| Число падения / Falling number | 23 | 25 | 15 | 33 | 4 | 24 | 31 | 13 |
| Натура / Nature | 2 | - | 4 | - | 2 | 2 | 1 | 2 |

Анализ полученных данных методом главных компонент и построение биplot позволили оценить влияние отдельных признаков на формирование урожайности сортов. Было выявлено 9 главных компонент, влияющих на урожайность, но только 5 из них внесли существенный вклад (95,162 % всей изменчивости результирующего признака). Значения факторных нагрузок показаны в таблице 5.

Поражение снежной плесенью, зимостойкость, устойчивость к полеганию, длина колоса, количество колосков и зерен в колосе, масса 1000 зерен, относительная продуктивность колоса составили самую многочисленную первую компоненту, вторую компоненту – масса колоса, масса зерна с колоса и с растения. На рисунке 2 представлены две первые компоненты с наибольшей долей в дисперсии (40,715 и 25,144 %).

Использование биplot-анализа позволило сорта распределить по четвертям. Попадание в одну четверть говорит о принадлежности сортов к одной агроэкологической группе и похожей реакции при взаимодействии со средой [10]. Также важное значение имеют сорта, расположенные на вершинах воображаемого многоугольника (в нашем случае, треугольника). Они характеризуются разной реакцией на условия среды (на рисунке отмечены синим свечением). Близость векторов признаков к определенному сорту показывает, за счет чего данный сорт формировал урожайность [11, 12]. Сорта местной селекции Рушник, Фаленская 4 и Флора формировали урожайность за счет высокой зимостойкости. Для сортов Алиса и Янтарная характерно большое количество зерен и колосков в колосе, а также длинный колос. На урожайность сортов Саратовская 7, Безенчукская 87, Антарес и Памяти Кунакбаева влияла масса 1000 зерен.

Таблица 5 – Значения факторных нагрузок хозяйственно-биологических признаков сортов озимой ржи, влияющих на урожайность /

Table 5 – Values of factor loadings of economically biological characteristics of winter rye varieties influencing the yields

| Показатель / Parameter | Главные компоненты / Main components | | | | |
|---|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
| Урожайность / Yield | 0,922 | -0,321 | 0,023 | 0,074 | -0,087 |
| Масса 1000 зерен / Weight of 1000 grains | -0,891 | 0,389 | -0,180 | 0,010 | 0,062 |
| Продуктивная кустистость / Productive bushiness | -0,092 | -0,121 | 0,945 | 0,050 | 0,119 |
| Поражение снежной плесенью / Snow mold infection | 0,761 | -0,278 | -0,103 | -0,518 | -0,148 |
| Зимостойкость / Winter hardiness | 0,848 | -0,454 | 0,033 | 0,117 | -0,064 |
| Устойчивость к полеганию / Lodging resistance | 0,631 | 0,005 | -0,390 | -0,630 | -0,087 |
| Высота растений / Height of plants | 0,631 | 0,266 | 0,177 | 0,652 | 0,043 |
| Масса колоса / Ear weight | -0,107 | 0,955 | -0,223 | -0,066 | 0,080 |
| Длина колоса / Ear length | 0,902 | 0,389 | 0,000 | 0,035 | 0,064 |
| Количество колосков в колосе / Number of spikelets in an ear | 0,887 | 0,417 | -0,017 | 0,041 | 0,162 |
| Количество зерен в колосе / Number of grains in an ear | 0,847 | 0,526 | -0,003 | 0,017 | 0,026 |
| Масса зерна с колоса / Grain weight per ear | -0,044 | 0,960 | -0,254 | 0,003 | 0,026 |
| Количество зерен с растения / Number of grains per plant | 0,530 | 0,335 | 0,694 | -0,294 | -0,076 |
| Масса зерна с растения / Grain weight per plant | -0,060 | 0,817 | 0,439 | -0,261 | -0,163 |
| Относительная продуктивность колоса / Relative ear productivity | 0,586 | 0,139 | -0,333 | 0,488 | -0,460 |
| Плотность колоса / Density of ear | 0,194 | 0,319 | -0,081 | 0,032 | 0,812 |
| Череззерница / Incomplete setting of grains | 0,421 | -0,563 | -0,139 | -0,035 | 0,646 |
| Изменчивость, % / Variability, % | 40,715 | 25,144 | 12,036 | 8,918 | 8,349 |

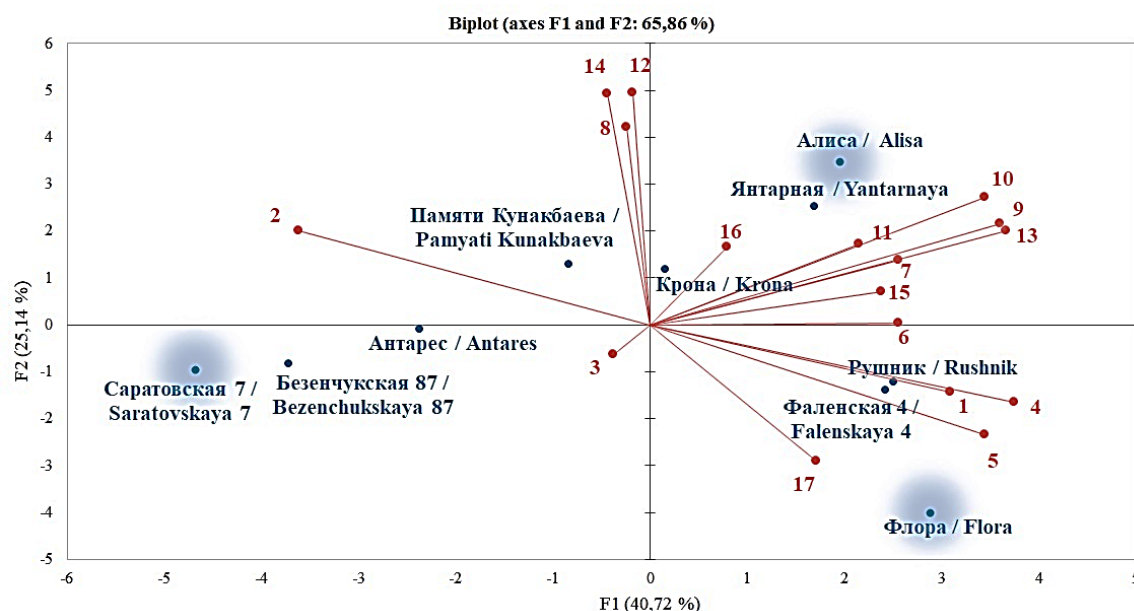


Рис. 2. Распределение сортов озимой ржи и их хозяйственно-биологических признаков в координатах главных компонент: 1 – урожайность; 2 – масса 1000 зерен; 3 – продуктивная кустистость; 4 – поражение снежной плесенью; 5 – зимостойкость; 6 – устойчивость к полеганию; 7 – высота растений; 8 – масса колоса; 9 – длина колоса; 10 – количество колосков в колосе; 11 – количество зерен в колосе; 12 – масса зерна с колоса; 13 – количество зерен с растения; 14 – масса зерна с растения; 15 – относительная продуктивность колоса; 16 – плотность колоса; 17 – череззерница /

Fig. 2. Location of winter rye varieties and economically biological characteristics in principal component coordinates: 1 – yield; 2 – weight of 1000 grains; 3 – productive bushiness; 4 – snow mold infection; 5 – winter hardiness; 6 – lodging resistance; 7 – height of plants; 8 – ear weight; 9 – ear length; 10 – amount of spikelets in an ear; 11 – amount of grains in an ear; 12 – grain weight per ear; 13 – amount of grains per plant; 14 – grain weight per plant; 15 – relative ear productivity; 16 – density of ear; 17 – incomplete setting of grains

Также с помощью биплот графика проведен анализ взаимодействия условий года с генотипом (рис. 3). Изучаемые сорта были распределены по всем четвертям биплота, тогда как векторы лет испытаний сконцентрировались только в первой и четвертой четвертях. Таким образом, сорта Алиса, Фаленская 4 и Флора формировали высокую урожайность как в годы с оптимальными условиями вегетации (2015 и 2018 гг.), так и в год с избыточным увлажнением (2022 г.), сорт Рушник – как при засушливых условиях (2016 г.), так и при оптимальных

(2019 и 2021 гг.), то есть полностью отсутствует какая-либо связь с климатическими условиями года. Это вполне закономерно, так как сорта местной селекции (Фаленская 4, Рушник, Флора) максимально адаптированы к условиям региона. Наравне с местными сортами выделялся сорт Алиса селекции Уральского НИИСХ. Сорта Памяти Кунакбаева, Крона, Саратовская 7, Антарес, Безенчукская 87, Янтарная не реализовали свой потенциал урожайности в годы исследований в условиях Кировской области.

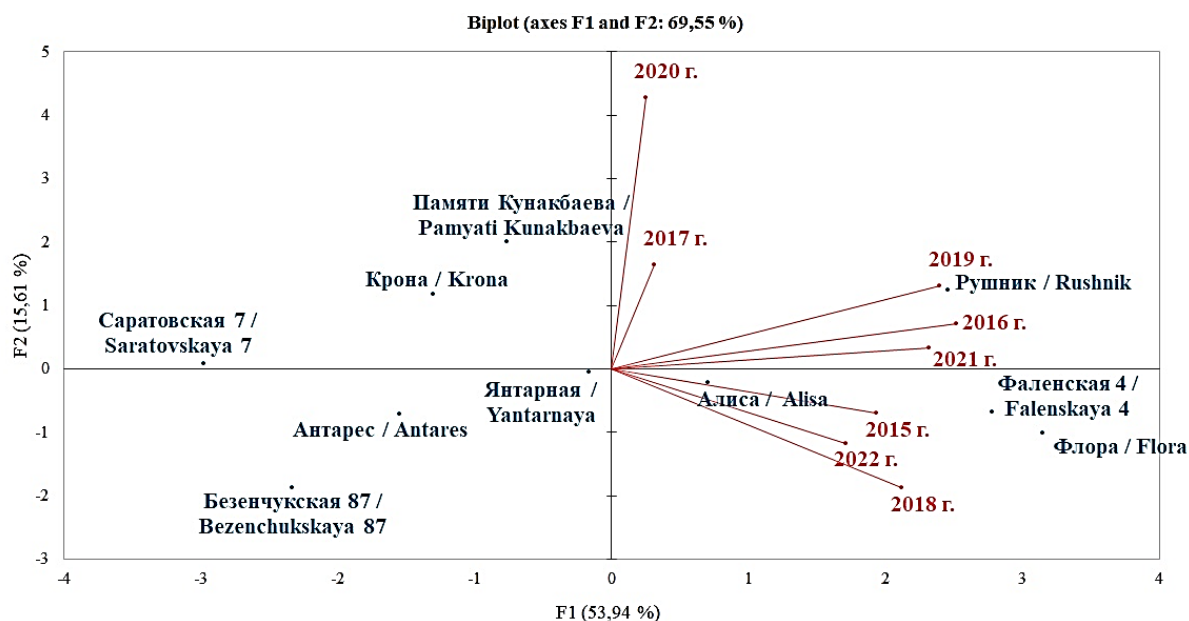


Рис. 3. Распределение сортов озимой ржи и условий года в координатах главных компонент /
Fig. 3. Location of winter rye varieties and year conditions in principal component coordinates

В результате дисперсионного анализа выявлена доля влияния условий года на все изученные хозяйственно-биологические и технологические признаки (16-77 %). Влияние генотипа на проявление признака было ниже в 13 из 19 случаев. Генотип оказывал более сильное влияние на такие признаки, как длина колоса, количество колосков и зерен в колосе, а также крупность зерна (55-67 %) (табл. 6).

Метеоусловия в годы исследований существенно различались, соответственно, и корреляционные связи признаков с урожайностью характеризовались значительным размахом по годам. В результате ранее проведенных исследований было отмечено, что в неблагоприятные для формирования урожайности годы количество корреляционных связей между признаками растёт и наоборот [13]. Так, в неблагоприятном 2016 г. (согласно I_j), отмечено 6 достоверных корреляционных связей, тогда как в благоприятном 2015 г. – связей не установлено.

В среднем за 8 лет урожайность достоверно коррелировала с зимостойкостью ($r = 0,98$), длиной колоса ($r = 0,69$) и количеством колосков в колосе ($r = 0,66$). Сильная отрицательная связь урожайности с массой 1000 зерен ($r = -0,96$) объясняется тем, что объектами изучения являлись мелкозерные адаптивные сорта, формирующие высокую урожайность, и крупнозерные сорта инорайонной селекции с нестабильной по годам урожайностью. Неоднозначные результаты получены по корреляции урожайности со степенью поражения растений снежной плесенью ($r = 0,75$). Это объясняется тем, что сорта, менее адаптированные к местным условиям, в период перезимовки сильно страдали от выпревания, происходила частичная гибель растений и посевы выходили из-под снега в изреженном состоянии. На отдельно стоящих растениях интенсивность распространения патогена *M. nivale* менее выражена и менее агрессивна, чем на мощно развитой зеленой массе хорошо

перезимовавших сортов. Особенно наглядно это проявилось в 2021 г., когда зимостойкость

сортов варьировала от 2 (70 % гибели растений) до 5 баллов.

Таблица 6 – Вклад генотипа и условий года в развитие хозяйственно-биологических и технологических признаков сортов озимой ржи и корреляционные связи с урожайностью /

Table 6 – Contribution of genotype and year conditions to the development of economically biological and technological characteristics of winter rye varieties and correlations with the yield

| Показатель / Parameter | Дисперсионный анализ / Dispersion analysis | | Корреляционный анализ / Correlation analysis | | |
|--|--|---------------------------|---|--------|-----|
| | Влияние фактора, % / Influence of the factor, % | | $r_{2015-2022}$ | r_x | n |
| | «год» / «year» | «генотип» / «genotype» | | | |
| Урожайность / Yield | 45* | 27* | - | - | - |
| Масса 1000 зерен / Weight of 1000 grains | 34* | 55* | -0,94...-0,18 | -0,96* | 4 |
| Продуктивная кустистость / Productive bushiness | 47* | 11 | -0,56...0,17 | -0,05 | 0 |
| Поражение снежной плесенью / Snow mold infection | 39* | 18* | -0,28...0,86 | 0,75* | 1 |
| Зимостойкость / Winter hardiness | 37* | 30* | -0,29...0,97 | 0,98* | 5 |
| Устойчивость к полеганию / Lodging resistance | 51* | 13* | -0,75...0,98 | 0,52 | 3 |
| Высота растений / Height of plants | 77* | 14* | -0,41...0,80 | 0,52 | 2 |
| Масса колоса / Ear weight | 40* | 35* | -0,92...0,38 | -0,42 | 2 |
| Длина колоса / Ear length | 16* | 65* | 0,04...0,69 | 0,69* | 1 |
| Количество колосков в колосе / Number of spikelets per ear | 17* | 67* | 0,19...0,75 | 0,66* | 1 |
| Количество зерен в колосе / Number of grains per ear | 18* | 55* | 0,16...0,53 | 0,61 | 0 |
| Масса зерна с колоса / Grain weight per ear | 42* | 34* | -0,86...0,39 | -0,36 | 1 |
| Количество зерен с растения / Number of grains per plant | 32* | 16 | -0,47...0,45 | 0,38 | 0 |
| Масса зерна с растения / Grain weight per plant | 34* | 14 | -0,87...0,31 | -0,30 | 1 |
| Относительная продуктивность колоса / Relative ear productivity | 21* | 12 | -0,23...0,72 | 0,56 | 1 |
| Плотность колоса / Density of ear | 49* | 7 | -0,39...0,60 | 0,05 | 0 |
| Череззерница / Incomplete setting of grains | 29* | 7 | -0,44...0,67 | 0,47 | 1 |
| Число падения / Falling number | 71* | 15* | - | - | - |
| Натура / Nature | 49* | 31* | - | - | - |

Примечания: * значимо при $p \leq 0,05$; $r_{2015-2022}$ – пределы варьирования коэффициентов корреляций за период 2015-2022 гг.; r_x – корреляция между средними восьмилетними значениями признаков; n – количество лет с достоверной корреляционной связью /

Notes: *significant at $p \leq 0,05$; $r_{2015-2022}$ – limits of variation of correlation coefficients for the period of 2015-2022; r_x – correlation between the eight-year average values of the characteristics; n – number of years with a significant correlation

Заключение. Многолетнее изучение сортов озимой ржи различных по происхождению в условиях центральной зоны Кировской области выявило их реакцию на изменения гидротермического режима в период вегетации. Опытные данные свидетельствуют о достоверном

влиянии внешних факторов на все изученные в опыте признаки (16-77 %). Максимальные изменения под влиянием внешних условий (фактор «год») отмечены по высоте растений (77 %) и хлебопекарным качествам зерна (число падения) (71 %).

Оценка вариабельности изучаемых признаков в различных погодно-климатических условиях позволила оценить влияние условий года на селекционно ценные признаки сортов. Наиболее изменчивыми признаками выделены урожайность ($CV = 7-75\%$) и зимостойкость ($CV = 4-89\%$), которые в условиях Кировской области являются взаимозависимыми и находятся в тесной корреляции ($r = 0,98$). Наименьшее варьирование этих показателей отмечено в 2015, 2017 и 2020 гг.

Применение метода главных компонент позволило оценить влияние признаков на формирование урожайности сортов. Величина урожайности в большей степени зависела от массы 1000 зерен, поражения снежной плесенью, зимостойкости, устойчивости к полеганию,

длины и массы колоса, количества колосков и зерен в колосе, массы зерна с колоса и растения, относительной продуктивности колоса. Эти признаки составили две первых компоненты и определили 65,9 % изменчивости урожайности. Биplot-анализ взаимодействия генотип-среда позволил выявить наиболее стабильные сорта за 8 лет изучения – Рушник, Фаленская 4, Флора и Алиса, которые в меньшей степени зависели от изменения погодных условий.

Для дальнейшего ведения селекционной работы рекомендуем использовать сорта Фаленская 4, Рушник и Флора в качестве источников зимостойкости, источников оптимального сочетания параметров колоса – Алиса, и Янтарная, крупнозерности – Саратовская 7, Безенчукская 87, Антарес и Памяти Кунакбаева.

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М., 2014. 372 с.
2. 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.
Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/activity/info/izdaniya-2021-g.html>
3. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Набатова Н. А., Псарева Е. А., Парфенова Е. С. Урожайный потенциал сортов озимой ржи в условиях Волго-Вятского региона. Успехи современного естествознания. 2020;(1):12-17.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42320387> EDN: LJHNDVM
4. Борович С. Принципы и методы селекции растений. М.: Колос, 1984. 343 с.
5. Потапова Г. Н. Влияние генотипа сорта и условий выращивания на формирование урожайности озимой ржи. АПК России. 2016;23(5):948-952. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27536391> EDN: XEPBBP
6. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на Среднем Урале. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(10):28-33.
DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11004> EDN: GGNUZZ
7. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;19(4):109-113.
8. Кедрова Л. И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
9. Уткина Е. И., Кедрова Л. И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(1):11-18. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18> EDN: YSACTW
10. Мандрусова В. С., Гордей И. С., Люсиков О. М., Шимко В. Е., Гордей И. А. Изучение генофонда озимой ржи *Secale cereale* L. Республики Беларусь с применением микросателлитных маркеров. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2021;66(2):215-222.
DOI: <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-2-215-222> EDN: RIVXFA
11. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Маннапова Г. С., Фомин С. И. Особенности формирования урожайности озимой ржи в контрастных гидротермических условиях севера Средневолжья. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022;(4(44)):151-162. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-151-162> EDN: LCIEYE
12. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Тагиров М. Ш. Оценка фенотипической стабильности сортов озимой тритикале по урожайности зерна методом биplot-анализа. Земледелие. 2018;(8):34-38.
DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10810> EDN: YTZGUX
13. Набатова Н. А. Формирование урожайности сортов озимой ржи в зависимости от условий года. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы V Международ. научн.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 101-104.
Режим доступа: <https://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf#page=101>

References

1. Goncharenko A. A. Current problems of winter rye breeding. Moscow, 2014. 372 p.
2. Utkina E. I., Kedrova L. I., Shamova M. G., Parfenova E. S., Nabatova N. A., Sheshhegova 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. URL: <http://fanc-sv.ru/activity/info/izdaniya-2021-g.html>

3. Utkina E. I., Kedrova L. I., Nabatova N. A., Psareva E. A., Parfenova E. S. Yield capacity of winter rye varieties in conditions of Volgo-Vyatsk region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020;(1):12-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42320387>
4. Boroevich S. Principles and methods of plant breeding. Moscow: *Kolos*, 1984. 343 p.
5. Potapova G. N. The effects of variety genotype and growing conditions on the formation of winter rye yield. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2016;23(5):948-952. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27536391>
6. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L. Productivity and adaptability of winter rye varieties in the Middle Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(10):28-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11004>
7. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crops. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 1984;19(4):109-113. (In Russ.).
8. Kedrova L. I. Winter rye in the North-Eastern region of Russia. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2000. 158 p.
9. Utkina E. I., Kedrova L. I. Winter hardiness in winter rye: problems and solutions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(1):11-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18>
10. Mandrusova V. S., Gordey I. S., Lyusikov O. M., Shimko V. E., Gordey I. A. Study of the gene pool of the winter rye *Secale cereale* L. of the Republic of Belarus using microsatellite markers. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series. 2021;66(2):215-222. (In Belarus). DOI: <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-2-215-222>
11. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Mannapova G. S., Fomin S. I. Features of winter rye yield formation in contrasting hydrothermal conditions of the northern middle Volga region. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2022;(4(44)):151-162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-151-162>
12. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Tagirov M. Sh. Evaluation of phenotypic stability of winter triticale varieties by grain yield by biplot analysis. *Zemledelie*. 2018;(8):34-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10810>
13. Nabatova N. A. Formation of the yield of winter rye varieties depending on the conditions of the year. Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the 5th International scientific and practical Conference. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka*, 2019. pp. 101-104. URL: <https://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf#page=101>

Сведения об авторах

✉ **Набатова Наталья Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и 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/0000-0002-3845-0168>, e-mail: nabatova43@rambler.ru

Уткина Елена Игоревна, доктор с.-х. наук, зав. отделом 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/0000-0001-5650-6906>

Псарева Екатерина Александровна, лаборант лаборатории селекции и 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/0000-0002-9020-4765>

Information about the authors

✉ **Natalia A. Nabatova**, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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/0000-0002-3845-0168>, e-mail: nabatova43@rambler.ru

Elena I. Utkina, DSc in Agricultural Science, Head of the Department of Winter Rye, 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/0000-0001-5650-6906>

Ekaterina A. Psareva, laboratory assistant, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, 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



Изменчивость содержания волокна в стеблях у различных сортов льна-долгунца

© 2023. Т. А. Рожмина✉, А. А. Янышина

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

Проведен анализ экспериментальных данных оценки партий семян льна-долгунца отечественных сортов на генетическую однородность методом грунтового контроля по признаку «содержание волокна в стебле» за период с 1953 по 2022 год. Семенной материал для проведения оценки был получен из селекционно-семеноводческих учреждений России, Белоруссии, Украины, Литвы, Латвии и Эстонии. Цель исследований – оценка уровня изменчивости признака «содержание волокна в стебле» льна-долгунца и результативность отечественной селекции в данном направлении за 70 лет. На примере сорта Светоч показано, что различия между партиями семян (ежегодно оценивалось от 4 до 11 партий различных научных учреждений) по результатам 13 лет испытаний составили от 0,4 до 2,5 абс. процента в пределах одного года, коэффициент вариации – от 0,52 до 3,14 %, что указывает на высокую стабильность данного признака. При этом величина признака у данного сорта, в зависимости от условий выращивания, за период с 1953 по 1972 год колебалась от 27,9 до 35,4 %, коэффициент вариации в среднем за 20 лет составил 6,8 %, среднее значение признака – 31,7 %. У сорта Томский 18 за период испытаний с 1993 по 2022 год величина признака находилась в диапазоне от 25,5 до 35,0 % ($C_v = 8,4$ %). Биологический потенциал современных сортов льна-долгунца (Кром, А-29, Дипломат, Цезарь, Визит и Томский 17) позволил получить содержание волокна в стебле в отдельные годы на уровне 38,1...39,8 % при среднем значении признака – 32,8...35,2 % ($C_v = 9,6$...14,9 %). Наиболее высоким и стабильным содержанием волокна в стебле из 36 изученных современных отечественных сортов льна-долгунца обладает сорт Сурский, у которого величина признака в среднем за годы испытаний составила 34,5 %, коэффициент вариации – 6,4 %, что указывает на высокий уровень его адаптивности.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., генетическая однородность, партии семян, содержание волокна, адаптивность, вариабельность

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема FGSS-2019-0016).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рожмина Т. А., Янышина А. А. Изменчивость содержания волокна в стеблях у различных сортов льна-долгунца. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(4):562-571. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.562-571>

Поступила: 11.02.2023

Принята к публикации: 18.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Variability of fiber content in the stems of different varieties of fiber flax

© 2023. Tatiana A. Rozhmina✉, Antonina A. Yanyshina

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

The analysis of experimental data on the evaluation of seed lots of fiber flax of domestic varieties for genetic uniformity by the method of soil control according to the trait "fiber content in the stem" for the period from 1953 to 2022 was carried out. Seed material for evaluation was obtained from breeding and seed-growing institutions in Russia, Belarus, Ukraine, Lithuania, Latvia and Estonia. The purpose of the research was to assess the level of variability of the trait "fiber content in the stems" of fiber flax and the effectiveness of domestic breeding in this direction for 70 years. Using the Svetoch variety as an example, it was shown that the differences between seed lots (from 4 to 11 lots of various scientific institutions were estimated annually) based on the results of 13 years of testing ranged from 0.4 to 2.5 abs. percent within one year, the coefficient of variation was from 0.52 to 3.14 %, which indicated the high stability of this trait. At the same time, the value of the trait in this variety, depending on the growing conditions for the period from 1953 to 1972 ranged from 27.9 to 35.4 %, the coefficient of variation on average over 20 years was 6.8 %, the average value of the trait was 31.7 %. In variety Tomsy 18, for the period of testing from 1993 to 2022, the value of the trait was in the range from 25.5 to 35.0 % ($C_v = 8.4$ %). The biological potential of modern varieties of fiber flax – Krom, A-29, Diplomat, Cesar, Visit and Tomsy 17 made it possible to obtain a fiber content in the stem in some years at the level of 38.1...39.8 %, with an average value of the trait – 32.8...35.2 % ($C_v = 9.6$...14.9 %). The highest and most stable fiber content in the stem of 36 studied modern domestic varieties of fiber flax was found in Sursky variety, in which the value of the trait on average over the years of testing was 34.5 %, the coefficient of variation was 6.4 %, which indicated a high level of adaptability.

Keywords: *Linum usitatissimum* L., genetic uniformity, seed lots, fiber content, adaptability, variability

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2019-0016).

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: Rozhmina T. A., Yanyshina A. A. Variability of fiber content in the stems of different varieties of fiber flax. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):562-571. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.562-571>

Received: 11.02.2023

Accepted for publication: 18.07.2023

Published online: 30.08.2023

Лен-долгунец является основным отечественным источником волокнистого сырья. В современных условиях в его сырье нуждается текстильная, медицинская и химическая промышленность, военно-промышленный комплекс, самолето- и автомобилестроение, а также другие отрасли народного хозяйства [1, 2, 3]. В последние годы во всем мире значительно возросла популярность композитов на основе растительных волокон, заменяющих синтетические волокна. Преимуществами растительных волокон по сравнению с синтетическими являются возобновляемость, низкая плотность, малоопасный производственный процесс для здоровья человека, низкая истираемость и другие [4].

Создание надежной отечественной сырьевой базы является важнейшим приоритетным направлением развития страны. Ведущая роль в решении данной задачи принадлежит селекции [2]. Одним из основных признаков, определяющих урожайность льноволокна, является его содержание в стебле. Данный признак положен в основу методики оценки сортов льна-долгунца на генетическую стабильность методом грунтового контроля, которая разработана еще в 30-е годы прошлого века, затем была усовершенствована и до настоящего времени является основным методом для осуществления контроля за сортовой однородностью партий семян возделываемых сортов в процессе их семеноводства [5, 6].

Кряжевые формы льна, созданные крестьянством России в результате применения массового отбора в течение десятков и сотен лет, отличались высоким качеством волокна и имели его содержание в стебле на уровне 20-25 %. Методом индивидуального отбора были созданы первые селекционные сорта – Светоч, 1288/12 и другие, которые находились в производстве более 50 лет. Однако отбор из естественных популяций не позволил комбинировать в сорте необходимые признаки и свойства. Недостатком данных сортов являлись, прежде всего, низкорослость, слабая устойчивость к полеганию и болезням [7, 8].

По мере повышения требований к технологическому качеству льноволокна и придания сортам устойчивости к неблагоприятным факторам среды основным методом стал метод систематической селекции с использованием гибридизации и последующим отбором элитных растений, что позволило создать уникальные по своему строению растения льна-долгунца, высота которых достигает до 85 см и выше, при этом диаметр стебля составляет всего 1,3-1,7 мм [9, 10, 11].

Биологический потенциал современных сортов льна-долгунца по урожайности льноволокна составляет 20-25 ц/га, в среднем по Российской Федерации находится на уровне 9 ц/га, что в значительной мере обусловлено недостаточной устойчивостью современных сортов к неблагоприятным факторам среды [2]. Для решения данной проблемы в последние десятилетия активизировались исследования по оценке адаптивного потенциала генетического разнообразия льна-долгунца на основе анализа урожайности льносолемы либо комплексного показателя – урожайности льноволокна [12, 13, 14]. Вместе с тем, экспериментальные данные о влиянии факторов внешней среды на изменчивость важнейшего признака, определяющего урожайность льноволокна, а именно содержания его в стебле, применительно к современным сортам практически отсутствуют [15].

Цель исследований – оценить уровень изменчивости признака «содержание волокна в стебле» льна-долгунца и результативность отечественной селекции в этом направлении за 70 лет.

Новизна исследований. Использование многолетних данных позволило впервые оценить уровень изменчивости содержания льноволокна в стебле в зависимости от генотипа, условий выращивания, а также выявить влияние репродукции семян в различных агроклиматических льносеющих зонах не только России, но и других стран в течение 4-15 лет на проявление признака при последующих их воспроизводстве. Более того, полученные данные дают возможность оценить результативность отечественной селекции за 70 лет, направленной на повышение содержания волокна в стебле. Все это имеет колоссальное значение как для совершенствования методических подходов в селекции льна-долгунца, так и семеноводства культуры.

Материал и методы. В работе использовали данные оценки за период с 1953 по 2022 год партий семян отечественных сортов и селекционных номеров льна-долгунца на сортовую однородность методом грунтового контроля, проводимой на базе Научно-исследовательского института льна – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (г. Торжок, Тверская область). До распада СССР партии семян для оценки методом грунтового контроля поступали от 34-36 научных и образовательных учреждений, занимающихся семеноводством льна-долгунца, расположенных в различных регионах: России, Белоруссии, Украины, Латвии, Литвы и Эстонии (табл. 1).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 1 – Научные учреждения, занимающиеся семеноводством льна-долгунца до распада СССР/
Table 1 – Scientific institutions involved in fiber flax seed production before the collapse of the USSR

| Республика | Учреждение/ Institution |
|---|--|
| РСФСР / RSFSR | Боготольская сельскохозяйственная опытная станция / Bogotol Agricultural Experimental Station |
| | Брянская областная сельскохозяйственная опытная станция / Bryansk Regional Agricultural Experimental Station |
| | Всесоюзный научно-исследовательский институт льна / All-Russian Research Institute of Flax |
| | Великолукская сельскохозяйственная опытная станция / Velikolukskaya Agricultural Experimental Station |
| | Владимирская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Vladimir State Regional Agricultural Experimental Station |
| | Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке лубяных культур / All-Russian Research Institute for the Processing of Bast Crops |
| | Вологодская сельскохозяйственная опытная станция / Vologda Agricultural Experimental Station |
| | Вятская государственная сельскохозяйственная академия / Vyatka State Agricultural Academy |
| | Горьковская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Gorky State Regional Agricultural Experimental Station |
| | Ивановская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Ivanovo State Regional Agricultural Experimental Station |
| | Калужская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Kaluga State Regional Agricultural Experimental Station |
| | Костромская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Kostroma State Regional Agricultural Experimental Station |
| | НИИ сельского хозяйства Нечерноземной зоны / Research Institute of Agriculture of the Non-Chernozem Zone |
| | Новгородская областная сельскохозяйственная опытная станция / Novgorod Regional Agricultural Experimental Station |
| | Новосибирская государственная сельскохозяйственная опытная станция / Novosibirsk State Agricultural Experimental Station |
| | Марийская государственная республиканская сельскохозяйственная опытная станция / Mari State Republican Agricultural Experimental Station |
| | Псковская областная государственная сельскохозяйственная опытная станция / Pskov Regional State Agricultural Experimental Station |
| | Смоленская областная сельскохозяйственная опытная станция / Smolensk Regional Agricultural Experimental Station |
| | Томская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Tomsk State Regional Agricultural Experimental Station |
| | Менделеевское опытное поле / Mendelev experimental field |
| | Удмуртская государственная сельскохозяйственная опытная станция / Udmurt State Agricultural Experimental Station |
| | Фаленская селекционная станция / Falenki Breeding Station |
| | Ярославская государственная сельскохозяйственная опытная станция / Yaroslavl State Agricultural Experimental Station |
| Белорусская ССР / Byelorussian SSR | Белорусская сельскохозяйственная академия / Belarusian Agricultural Academy |
| | Брестская областная сельскохозяйственная опытная станция / Brest Regional Agricultural Experimental Station |
| | Витебская государственная областная сельскохозяйственная опытная станция / Vitebsk State Regional Agricultural Experimental Station |
| | Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция / Mogilev Regional Agricultural Experimental Station |
| | Минская областная сельскохозяйственная опытная станция / Minsk Regional Agricultural Experimental Station |
| | Экспериментальная база "Устье" (ныне РУП Институт льна) / Experimental base "Ustie" (now Republican Unitary Enterprise Flax Institute) |
| Украинская ССР / Ukrainskaya SSR | Волынская государственная сельскохозяйственная опытная станция / Volyn State Agricultural Experimental Station |
| | Житомирская областная сельскохозяйственная опытная станция / Zhytomyr Regional Agricultural Experimental Station |
| | Ивано-Франковская сельскохозяйственная опытная станция / Ivano-Frankivsk agricultural experimental station |
| | Можгинская межрайонная льносеменоводческая станция / Mozhginsk interdistrict flax seed station |
| | НИИ земледелия и животноводства западных районов / Research Institute of Agriculture and Animal Husbandry of the Western Regions |
| | Ровенская сельскохозяйственная опытная станция / Rivne Agricultural Experimental Station |
| | Украинский НИИ земледелия / Ukrainian Research Institute of Agriculture |
| | Черниговская сельскохозяйственная опытная станция / Chernihiv Agricultural Experimental Station |
| Литовская ССР / Litovskaya SSR | Литовская опытная станция / Lithuanian experimental station |
| | Упитская опытная станция / Upitskaya experimental station |
| Латвийская ССР / Latvijskaya SSR | Вилянская селекционная опытная станция / Vilyanska Selection Experimental Station |
| Эстонская ССР / Estonskaya SSR | Йыгеваская селекционная станция / Jõgeva breeding station |

В современных условиях основными научными учреждениями России по льну-долгунцу являются: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК) – обособленные подразделения НИИ льна, Псковский НИИ сельского хозяйства, Смоленский НИИ сельского хозяйства; Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудниченко» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) – филиал Фаленская опытная станция; Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук» (ФГБНУ СФНЦА РАН) – филиал Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа (Сибирский НИСХиТ).

Оценку партий семян сортов и селекционных номеров льна-долгунца на генетическую однородность, полученных из питомников первичного семеноводства различных учреждений России и других льносеющих стран бывшего СССР, проводили в соответствии с методикой грунтового контроля^{1, 2}. Данную оценку осуществляли в ящичном посеве в вегетационных условиях, а начиная с 2002 года – в луночном питомнике по типу 2-го этапа селекции. Закладку питомника грунтового контроля проводили в соответствии с методическими указаниями по селекции и первичному семеноводству льна-долгунца³. Площадь питания растений льна-долгунца как в условиях вегетационного, так и полевого опытов составляла 2,5 x 2,5 см. За счет оптимальной нормы посева и одинаковой площади питания растений обеспечивается высокая точность оценки испытываемых сортов и номеров по селекционно-значимым морфологическим признакам. В сухую жаркую погоду в питомнике проводили полив растений ежедневно утром и вечером в течение всего периода вегетации льна-долгунца. Определение содержания волокна в стеблях льна-долгунца осуществлялось по единичным растениям

методом тепловой мочки при контролируемом температурном режиме. По каждому сорту высевали 60 семян, повторность опыта 3-кратная. Содержание волокна в стебле определяли у 10 типичных растений в каждой повторности расчетным путем, как отношение массы волокна к массе технической части стебля, выраженное в процентах.

Математическая обработка данных (коэффициент вариации, стандартное отклонение, двухфакторный дисперсионный анализ) выполнена в соответствии с общепринятыми методиками⁴.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенного нами сравнительного анализа экспериментальных данных, полученных при оценке партий семян сорта Томский 18, поставляемых ежегодно оригинатором сорта – Сибирским НИСХиТ (филиал ФГБНУ СФНЦА РАН, ранее Томская ГОСХОС), в условиях ящичного посева (с 1993 по 2001 год) и луночном питомнике в полевых условиях (с 2002 по 2022 год) не выявлено различий между вегетационным и полевым опытом по признаку «содержание волокна в стебле». В том и другом случае среднее содержание волокна в стебле за указанные периоды находилось на уровне 30,4 %, коэффициент вариации при испытании в условиях вегетационного опыта составил 10,3 %, полевого опыта – 7,6 % (табл. 2). При этом диапазон величины признака в зависимости от года испытаний оказался практически идентичным и составил в условиях вегетационного опыта 25,5...35,0 %, а в полевых условиях – 26,0...34,9 %. Таким образом, изменение методики закладки питомника для оценки генетической однородности сортов льна-долгунца, с целью снижения ее трудоемкости, не оказало влияния на уровень содержания волокна в стебле, что еще раз подтверждает вывод, сделанный ранее при разработке данной методики [16]. Вместе с тем, данный признак, как и все другие количественные признаки льна-долгунца, зависит от почвенно-климатических условий в период вегетации растений [7].

¹Клочков В. К., Воронова В. Г. Рекомендации по семеноводству льна-долгунца. М.: 1965. 28 с.

²Яншина А. А., Павлов Е. И., Понажев В. П. Сортовой грунтовой контроль льна-долгунца: методические указания. Россельхозакадемия, 1999. 32 с.

³Павлова Л. Н., Рожмина Т. А., Лошакова Н. И. и др. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской госуниверситет, 2014. С. 92-98.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.

Таблица 2 – Динамика содержания волокна в стебле льна-долгунца сорта Томский 18 в условиях вегетационного и полевого опытов по данным многолетних испытаний (НИИ льна, питомник грунтового контроля), % /
Table 2 – Dynamics of fiber content in the stem of the fiber flax variety Tomsy 18 under the conditions of vegetation and field experiments according to long-term test (NIL, ground control nursery), %

| Вегетационный опыт (ящичный посев) / Vegetation experiment (box sowing) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------|
| 1993 г. | 1994 г. | 1995 г. | 1996 г. | 1997 г. | 1998 г. | 1999 г. | 2000 г. | 2001 г. | Среднее / Average 1993-2001 гг. | | | | | | | | | | | |
| 35,0 | 31,0 | 29,8 | 32,0 | 32,6 | 28,4 | 26,1 | 33,1 | 25,5 | 30,4 | | | | | | | | | | | |
| Полевой опыт (луночный питомник) / Field experiment (hole nursery) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. | 2005 г. | 2006 г. | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | Среднее / Average 2002-2022 г. |
| 26,7 | 32,0 | 31,3 | 30,0 | 29,2 | 29,7 | 32,1 | 32,7 | 31,4 | 31,0 | 31,9 | 27,1 | 28,0 | 34,2 | 30,7 | 33,8 | 26,0 | 31,7 | 30,2 | 27,1 | 30,4 |

В таблице 3 представлены многолетние экспериментальные данные оценки сорта Светоч в питомнике грунтового контроля во Всероссийском НИИ льна (г. Торжок, Тверская обл.). Семена сорта Светоч были получены из 16 селекционно-семеноводческих учреждений по льну-долгунцу бывшего СССР – ВНИИ льна, Великолукской ОС, Вологодской СОС, Новгородской ОС, Псковской ГОСХОС, Смоленской ГОСХОС, Марийской ОС (Россия); Минской ГОСХОС, Могилевской ГОСХОС, Экспериментальной базы "Устье" (Белоруссия); НИИ земледелия и животноводства, Ивано-Франковской СС, Житомирской ГОСХОС (Украина), Упитской ОС (Литва); Вилянской СОС (Латвия) и Йыгеваской СС (Эстония).

Анализ экспериментальных данных указывает на высокую стабильность содержания волокна в стебле в пределах одного года. Так, коэффициент вариации между партиями семян (ежегодно оценивалось от 4 до 11 партий) сорта Светоч, полученных из различных агроклиматических зон бывшего СССР, составил от 0,52 до 3,14 %, диапазон разности между максимальной и минимальной величиной признака составил от 0,4 (1970 г.) до 2,5 абс. процента (1954 г.). Вместе с тем, содержание волокна в стебле у сорта Светоч, как и у сорта Томский 18, зависит от погодных и почвенно-климатических условий в период выращивания. Так, наиболее высокое содержание волокна в стебле у сорта Светоч было получено в 1953 г., самое низкое – в 1960 г., величина признака составила 35,43 и 28,39 % соответственно.

При испытании партий семян сорта Светоч, полученных из того или иного учреждения, которое проводили в течение 4-15 лет, среднее минимальное значение признака с учетом места репродукции исходных семян составило 27,9 (Вологодская СХОС)...29,6 % (Экспериментальная база «Устье»), максимальное – 33,0 (Йыгеваская СС)...35,4 % (Псковская ГОСХОС) и среднее его значение – 31,15...32,38 % (табл. 4). Коэффициент вариации, в зависимости от условий выращивания, с учетом места репродукции испытываемых семян, находился в диапазоне от 5,36 до 7,42 %. Полученные результаты оказались довольно близки, что свидетельствует о том, что место репродукции семян не оказало влияния на величину признака «содержание волокна в стебле», несмотря на то, что производство семян осуществлялось, в том числе в недостаточно благоприятных для льна-долгунца почвенно-климатических условиях (НИИ земледелия и животноводства ЗР УССР, Львовская обл.; Ивано-Франковская СС и др.). При этом диапазон разности между максимальной и минимальной величиной признака в зависимости от условий выращивания (с 1953 по 1978 год), с учетом места репродукции исходных семян, составил от 4,5 до 6,9 абс. процента.

Таблица 3 – Изменчивость признака «содержание волокна в стебле» у льна-долгунца сорта Светоч в зависимости от года испытаний, % (ВНИИ льна) /

Table 3 – Variability of the trait "fiber content in the stem" in the fiber flax variety Svetoch depending on the year of testing, % (VNIL)

| Год / Year | Количество партий семян* / Number of seed lots* | $X \pm cd$ | CV | Min | Max |
|---------------|--|------------|------|-------|-------|
| 1953 | 4 | 35,43±0,53 | 1,50 | 34,80 | 36,10 |
| 1954 | 6 | 30,12±0,95 | 3,14 | 29,50 | 32,00 |
| 1955 | 6 | 32,10±0,25 | 0,79 | 31,80 | 32,50 |
| 1959 | 7 | 28,97±0,70 | 2,41 | 28,00 | 29,80 |
| 1960 | 11 | 28,39±0,33 | 1,17 | 27,90 | 28,90 |
| 1963 | 8 | 33,28±0,43 | 1,30 | 32,90 | 34,20 |
| 1964 | 11 | 33,23±0,77 | 2,32 | 31,90 | 34,80 |
| 1967 | 9 | 32,02±0,52 | 1,63 | 31,50 | 33,00 |
| 1968 | 7 | 34,13±0,30 | 0,89 | 33,80 | 34,60 |
| 1969 | 7 | 31,03±0,25 | 0,80 | 30,60 | 31,40 |
| 1970 | 5 | 34,32±0,18 | 0,52 | 34,20 | 34,60 |
| 1971 | 5 | 31,86±0,34 | 1,08 | 31,6 | 32,00 |
| 1972 | 5 | 29,46±0,46 | 1,55 | 29,1 | 30,20 |

*Количество селекционно-семеноводческих учреждений бывшего СССР, предоставивших семена для оценки на сортовую однородность /

*The number of breeding and seed-growing institutions of the former USSR that supplied seeds for evaluation of varietal uniformity

Таблица 4 – Изменчивость признака «содержание волокна в стебле» у льна-долгунца сорта Светоч за период 1953...1978 гг. с учетом места репродукции семян (ВНИИЛ, питомник грунтового контроля), % /

Table 4 – Variability of the trait «fiber content in the stem» in the fiber flax variety Svetoch for the period from 1953 to 1978 taking into account the place of seed reproduction (VNIL, soil control nursery), %

| Место репродукции семян / Place of seed reproduction | Кол-во лет испытаний / Number of years of testing | Годы / Years | Min | Max | Среднее значение / Average value | CV |
|---|--|-----------------|-------|-------|---|------|
| Новгородская ГОСХОС, Россия / Novgorod GOSHOS, Russia | 12 | 1959-1978 | 28,20 | 34,20 | 31,77 | 6,48 |
| Псковская ГОСХОС, Россия / Pskov GOSHOS, Russia | 8 | 1953-1968 | 28,60 | 35,40 | 31,88 | 7,42 |
| Вологодская ГОСХОС, Россия / Vologda GOSHOS, Russia | 15 | 1959-1983 | 27,90 | 34,80 | 31,35 | 6,83 |
| Марийская ГОСХОС, Россия / Mariyskaya GOSHOS, Russia | 4 | 1960-1967 | 28,90 | 33,40 | 31,75 | 6,34 |
| Упитская ГОСХОС, Литва / Upitskaya GOSHOS, Lithuania | 8 | 1959-1972 | 28,20 | 34,40 | 31,16 | 6,92 |
| Вилянская СОС Латвия / Vilanska SOS Latvia | 8 | 1954-1969 | 28,00 | 34,50 | 31,73 | 6,95 |
| Йыгеваская ГОСХОС, Эстония / Jõgeva GOSHOS, Estonia | 5 | 1955-1964 | 28,40 | 33,00 | 31,26 | 6,70 |
| НИИ земледелия и животноводства западных районов, Украина / Research Institute of Agriculture and Animal Husbandry of the western regions, Ukraine | 9 | 1960-1972 | 28,60 | 34,20 | 31,83 | 6,52 |
| Житомирская ГОСХОС, Украина / Zhytomyr GOSHOS, Ukraine | 6 | 1954-1964 | 28,60 | 32,90 | 31,15 | 6,17 |
| Могилевская ГОСХОС, Белоруссия / Mogilev GOSHOS, Belarus | 8 | 1963-1972 | 29,20 | 34,60 | 32,38 | 5,36 |
| Экспериментальная база "Устье", Белоруссия / Experimental base "Ustie", Belarus | 4 | 1953-1967 | 29,60 | 34,80 | 32,10 | 6,74 |

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 5 – Реакция современных сортов льна-долгунца по признаку «содержание волокна в стебле» на изменения погодных условий в зависимости от года испытаний, % (НИИ льна, питомник грунтового контроля) /
Table 5 – The response of modern varieties of fiber flax according to the trait "fiber content in the stem" to changes in weather conditions depending on the year of testing, % (NIIL, soil control nursery)

| Сорт / Variety | Количество лет испытаний / Number of years of testing | Годы / Years | Min | Max | CV | Среднее значение/ Average value | В т.ч. среднее за 2018-2021 гг. / Average value for 2018-2021 |
|--|--|-----------------|-------|-------|-------|--|--|
| Оригинатор – ОП Псковский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК / Originator – SP Pskov Research Institute of Agriculture FGBNU FNC LK | | | | | | | |
| Кром / Krom | 16 | 1992-2007 | 22,70 | 39,20 | 12,02 | 33,04 | - |
| Восход/ Voskhod | 19 | 2002-2020 | 26,00 | 34,00 | 7,61 | 31,03 | - |
| Антей / Antey | 11 | 2004-2014 | 30,20 | 36,50 | 6,87 | 33,15 | - |
| Добрыня / Dobrynya | 10 | 2013-2022 | 26,20 | 36,20 | 10,01 | 31,69 | 31,38 |
| ОП Смоленский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК / SP Smolensk Research Institute of Agriculture FGBNU FNC LK | | | | | | | |
| Смолич/ Smolich | 24 | 1995-2021 | 18,40 | 31,20 | 11,74 | 26,40 | 26,28 |
| Импульс/ Impuls | 20 | 2003-2022 | 22,10 | 33,50 | 9,74 | 27,71 | 26,65 |
| Лидер / Lider | 17 | 2006-2022 | 20,70 | 30,20 | 10,49 | 25,95 | 24,48 |
| Феникс/ Feniks | 4 | 2019-2022 | 22,80 | 28,00 | 10,95 | 25,23 | - |
| ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК/ SP Research Institute of Flax FGBNU FNC LK | | | | | | | |
| А-93/ А-93 | 11 | 1998-2008 | 27,20 | 36,20 | 9,18 | 32,35 | 26,28 |
| А-29 / А-29 | 7 | 1992-1998 | 30,00 | 39,80 | 9,61 | 35,20 | 26,65 |
| Ленок / Lenok | 17 | 1998-2014 | 25,90 | 37,70 | 9,09 | 31,50 | 24,48 |
| Тверской / Tverskoy | 18 | 2001-2018 | 26,60 | 36,20 | 8,90 | 32,47 | - |
| Зарянка / Zaryanka | 15 | 2001-2015 | 22,40 | 32,20 | 11,55 | 28,01 | - |
| Альфа / Alfa | 14 | 2006-2020 | 27,30 | 36,10 | 7,96 | 32,07 | - |
| Росинка / Rosinka | 9 | 2006-2017 | 22,70 | 33,80 | 11,79 | 29,27 | - |
| Дипломат / Diplomat | 9 | 2013-2022 | 24,60 | 39,40 | 14,93 | 32,43 | - |
| Универсал / Universal | 7 | 2014-2021 | 26,50 | 33,60 | 8,36 | 30,73 | 29,60 |
| Сурский / Surskiy | 7 | 2015-2021 | 31,70 | 37,30 | 6,39 | 34,51 | 33,88 |
| Цезарь / Zesar | 7 | 2015-2022 | 28,50 | 38,70 | 11,52 | 32,79 | 32,23 |
| Александрит / Aleksandrit | 7 | 2016-2022 | 26,40 | 37,20 | 12,37 | 32,06 | 31,70 |
| Тонус / Tonus | 5 | 2016-2021 | 29,60 | 35,30 | 6,99 | 33,32 | - |
| Надежда / Nadezhda | 5 | 2018-2022 | 27,70 | 35,10 | 10,23 | 31,30 | 32,20 |
| Визит/ Vizit | 5 | 2018-2022 | 28,20 | 39,10 | 12,23 | 33,22 | 33,23 |
| Факел/ Fakel | 5 | 2018-2022 | 29,30 | 36,80 | 10,07 | 32,20 | 32,93 |
| Полет/ Polet | 4 | 2018-2022 | 29,20 | 36,20 | 9,53 | 33,03 | 33,03 |
| ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока / FGBNU Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky | | | | | | | |
| Синель / Sinel' | 12 | 2011-2022 | 25,50 | 35,50 | 10,16 | 31,13 | 30,43 |
| Синичка/ Sinichka | 13 | 1997-2010 | 21,80 | 31,90 | 9,97 | 27,87 | - |
| ФГБНУ СФНЦА РАН / FGBNU Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences | | | | | | | |
| Томский 17 / Tomskiy 17 | 28 | 1992-2022 | 26,00 | 38,10 | 10,64 | 31,55 | 30,83 |
| Томский 18 / Tomskiy 18 | 28 | 1993-2022 | 25,60 | 35,00 | 8,79 | 30,36 | 30,43 |
| Памяти Крепкова / Pamyati Krepkova | 6 | 2013-2022 | 23,80 | 31,60 | 9,78 | 27,37 | 28,6 |
| Томиш / Tomich | 5 | 2018-2022 | 27,60 | 34,20 | 9,32 | 30,78 | 31,48 |
| Томиш 2 / Tomich 2 | 4 | 2018-2022 | 31,50 | 36,50 | 7,28 | 33,78 | - |
| Тост / Tost | 15 | 1998-2020 | 20,30 | 32,20 | 12,24 | 27,41 | - |
| Тост 3 / Tost 3 | 16 | 2000-2022 | 26,00 | 33,40 | 6,69 | 30,26 | - |
| Тост 4 / Tost 4 | 12 | 2007-2022 | 26,00 | 35,40 | 9,59 | 31,60 | - |
| Тост 5 / Tost 5 | 9 | 2007-2021 | 27,00 | 35,00 | 8,38 | 30,82 | - |
| Среднее | - | - | - | - | - | - | 30,33 |

Анализ современных отечественных сортов льна-долгунца свидетельствует о высокой результативности селекции на повышение содержания волокна в стебле. Биологический потенциал по данному признаку у ряда сортов – Кром, А-29, Дипломат, Цезарь, Визит (оригинатор – ФГБНУ ФНЦ ЛК) и Томский 17 (ФГБНУ СФНЦА РАН) составляет 38,1...39,8 % (табл. 5). Однако в среднем за годы испытаний лидерами по содержанию льноволокна в стебле являются сорта А-29 и Сурский, содержание волокна в стебле – 35,2 и 34,51 % соответственно. При этом сорт Сурский отличается от всех современных исследованных сортов льна-долгунца наименьшей вариабельностью признака ($CV = 6,39\%$). Наибольшая изменчивость признака, в зависимости от условий выращивания, выявлена у сортов Кром, Александрит, Визит и Тост, коэффициент вариации 12,02...14,93 %, разность между максимальной и минимальной величиной признака у данных сортов составила от 10,8 до 16,5 абс. процента.

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ данных по признаку «содержание волокна в стебле» сортов льна-долгунца, испытания которых проходили в период с 2018 по 2021 год, позволил установить достоверность различий при 0,05%-ном уровне значимости: сорт (фактор А) – 0,19 %, год (фактор В) – 0,41 %, взаимодействия факторов (АВ) – 0,82 % (табл. 5). Из полученных данных следует, что по анализируемому признаку наблюдаются существенные различия между большей частью сортов, при этом к наиболее высоковолокнистым относятся сорта льна-долгунца Сурский, Визит и Полет.

Заключение. Результаты анализа 13-летней оценки партий семян (4-11 ежегодно) в питомнике грунтового контроля по содержанию волокна в стебле льна-долгунца сорта Светоч, семенной материал которого был получен из

16 селекционно-семеноводческих учреждений России, Белоруссии, Украины, Литвы, Латвии и Эстонии, свидетельствуют о генетической однородности партий семян по данному признаку: разность между максимальным и минимальным значением составила 0,4...2,5 абс. процента ($CV = 0,52...3,14$). Вместе с тем, диапазон разности величины признака в зависимости от условий выращивания (с 1953 по 1978 год), с учетом места репродукции исходных семян, составил у сорта Светоч от 4,5 до 6,9 абс. процента. У партий семян сорта Томский 18, поставляемых ежегодно оригинатором – Сибирским НИИСХиТ, за период испытаний (с 1993 по 2022 год) разница в величине признака была существенно выше – 9,6 абс. процента. Установлено, что биологический потенциал у ряда современных отечественных сортов льна-долгунца (Кром, А-29, Дипломат, Цезарь, Визит) позволяет обеспечить получение содержания волокна в стебле на уровне 38,1...39,8 %, при этом разность между максимальным и минимальным значением признака у сорта Кром достигала 16,5 абс. процента, что, вероятно, обусловлено усилением влияния неблагоприятных факторов внешней среды. По результатам многолетних испытаний, из 36 изученных современных сортов льна-долгунца наибольшим средним значением данного признака (34,5 %) и стабильностью ($CV = 6,34\%$) обладал сорт Сурский, что указывает на его высокий адаптивный потенциал.

Таким образом, проведенный анализ селекционной работы по признаку «содержание волокна в стебле» у отечественных сортов льна-долгунца за 70 лет свидетельствует о высокой ее результативности. Так, биологический потенциал у современных сортов льна-долгунца достигает 39,8 %, что на 4,4 абс. процента выше по сравнению с сортом Светоч (35,4 %), созданным в середине прошлого столетия.

Список литературы

1. Goudenhoof C., Bourmaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties. *Frontiers in Plant Science. Section Plant Biophysics and Modeling*. 2019;10:411. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411>
2. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Понажев В. П., Захарова Л. М. Льняная отрасль на пути к возрождению. Защита и карантин растений. 2018;(1):3-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32368923> EDN: YNMXFE
3. Кошечеева Н. С., Баталова Г. А., Лыскова И. В., Краева С. Н. Результаты изучения коллекционного материала льна-долгунца по критериям хозяйственно ценных признаков. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;(3(64)):39-43. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.39-43>

4. Pickering K. L., Efendy M. G. A., Le T. M. A review of recent developments in natural fiber composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2016;83:98-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
5. Понажев В. П., Янышина А. А. Методы создания обновленных семян льна-долгунца и эффективность их применения в семеноводстве. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(9):39-43. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10908> EDN: SPRWUI
6. Янышина А. А., Понажев В. П., Фомина М. А. Состояние сортовых качеств оригинальных семян льна-долгунца в первичном семеноводстве научно-исследовательских учреждений Российской Федерации. *Владимирский земледелец*. 2019;(3(89)):32-35. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2019-10078> EDN: WIYXXT
7. Понажев В. П., Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Тихомирова В. Я., Поздняков Б. Я., Сорокина О. Ю., Захарова Л. М., Рыжов А. И., Серков В. А., Смирнов А. А., Ушерович Е. М. Лен и конопля: зонально-адаптивные сорта и технологии производства: монография. Тверь: Тверской ГУ, 2014. 324 с.
8. Duk M., Kanapin A., Rozhmina T., Bankin M., Surkova S., Samsonova A., Samsonova M. The Genetic landscape of fiber flax. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:764612. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.764612>
9. Jankauskiene Z. Results of 90 years of flax breeding in Lithuania. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Natural Exact and Applied Sciences*. 2014;68(3-4):184-192. URL: https://www.researchgate.net/publication/271726293_Results_of_90_Years_of_Flax_Breeding_in_Lithuania_90_Gadu_Linu_Selectijas_Rezultati_Lietuva
10. Rozhmina T., Bankin M., Samsonova A., Kanapin A., Samsonova M. A comprehensive dataset of flax (*Linum usitatissimum* L.) phenotypes. *Data in Brief*. 2021;37:107224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107224>
11. Baley C., Goudenhooff C., Gibaud M., Bourmaud A. Flax stems: from a specific architecture to an instructive model for bioinspired composite structures. *Bioinspiration & Biomimetics*. 2018;13:026007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aaa6b7>
12. Ушаповский И. В., Павлова Л. Н., Корнеева Е. М., Брач Н. Б. Особенности оценки льна-долгунца в почвенно-мелиоративных условиях осушения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(2):73-83. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-2-73-83>
13. Королев К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Белоруссии. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):615-621. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus> EDN: YZKVMH
14. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Лисицкая Т. Д. Оценка коллекционных образцов льна-долгунца по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Запада Российской Федерации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(1):54-68. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.54-68>
15. Du G.-H., Liu F.-H., Rowland G. Fiber cell development and fiber yield of flax (*Linum usitatissimum* L.) affected by the seasonal temperature pattern. *Canadian Journal of Plant Science*. 2015;95(6):1215-1220. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-185>
16. Жученко мл. А. А., Рожмина Т. А., Понажев В. П., Павлова Л. Н., Тихомирова В. Я., Сорокина О. Ю., Павлов Е. И., Поздняков Б. А., Усанова З. И. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь: Тверской ГУ, 2009. 272 с.

References

1. Goudenhooff C., Bourmaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties. *Frontiers in Plant Science. Section Plant Biophysics and Modeling*. 2019;10:411. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411>
2. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. Linen industry on the way to revival. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(1):3-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32368923>
3. Koshcheeva N. S., Batalova G. A., Lyskova I. V., Kraeva S. N. Results of study of long-fiber flax's collection material by the parameters of economically valuable traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;64(3):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.39-43>
4. Pickering K. L., Efendy M. G. A., Le T. M. A review of recent developments in natural fiber composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2016;83:98-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
5. Ponazhev V. P., Yanyshina A. A. Methods of development of new seeds of fiber flax and effectiveness of their use in seed production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(9):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10908>
6. Yanyshina A. A., Ponazhev V. P., Fomina M. A. Condition of high-quality features of initial fibre flax seeds in primary seed breeding of research institutions of the Russian Federation. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir agriculturist*. 2019;(3(89)):32-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2019-10078>

7. Ponazhev V. P., Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Tikhomirova V. Ya., Pozdnyakov B. Ya., Sorokina O. Yu., Zakharova L. M., Ryzhov A. I., Serkov V. A., Smirnov A. A., Usherovich E. M. Flax and hemp: zone-adaptive varieties and production technologies: monograph. Tver': Tverskoy GU, 2014. 324 p.
8. Duk M., Kanapin A., Rozhmina T., Bankin M., Surkova S., Samsonova A., Samsonova M. The Genetic landscape of fiber flax. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:764612. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.764612>
9. Jankauskiene Z. Results of 90 years of flax breeding in Lithuania. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Natural Exact and Applied Sciences*. 2014;68(3-4):184-192. URL: https://www.researchgate.net/publication/271726293_Results_of_90_Years_of_Flax_Breeding_in_Lithuania_90_Gadu_Linu_Selekcijas_Rezultati_Lietuva
10. Rozhmina T., Bankin M., Samsonova A., Kanapin A., Samsonova M. A comprehensive dataset of flax (*Linum usitatissimum* L.) phenotypes. *Data in Brief*. 2021;37:107224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107224>
11. Baley C., Goudenhooft C., Gibaud M., Bourmaud A. Flax stems: from a specific architecture to an instructive model for bioinspired composite structures. *Bioinspiration & Biomimetics*. 2018;13:026007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aaa6b7>
12. Ushchapovskii I. V., Pavlova L. N., Korneeva E. M., Brutch N. B. Peculiarities of fiber flax evaluation in soil-melioration conditions of drainage. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2017;178(2):73-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-2-73-83>
13. Korolev K. P., Bome N. A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):615-621. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>
14. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Lisitskaya T. D. Evaluation of collection accessions of fiber flax according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of North-West of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(1):54-68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.54-68>
15. Du G.-H., Liu F.-H., Rowland G. Fiber cell development and fiber yield of flax (*Linum usitatissimum* L.) affected by the seasonal temperature pattern. *Canadian Journal of Plant Science*. 2015;95(6):1215-1220. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-185>
16. Zhuchenko ml. A. A., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Tikhomirova V. Ya., Sorokina O. Yu., Pavlov E. I., Pozdnyakov B. A., Usanova Z. I. Ecological and genetic bases of fiber flax breeding. Tver': Tverckoy GU, 2009. 272 p.

Сведения об авторах

✉ **Рожмина Татьяна Александровна**, доктор биол. наук, зав. лабораторией селекционных технологий, Институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: yniil.sekretar@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8204-7341>, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Янышина Антонина Александровна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: yniil.sekretar@mail.ru

Information about the authors

✉ **Tatiana A. Rozhmina**, DSc in Biology, Head of the Laboratory of Breeding Technologies, Flax Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: yniil.sekretar@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8204-7341>, e-mail: len_rozhmina@mail.ru

Antonina A. Yanyshina, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Flax Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: yniil.sekretar@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Новый раннеспелый сорт льна-долгунца Стриж для условий Северо-Запада России

© 2023. А. Д. Степин ✉, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина, Н. В. Романова
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Цель исследований – комплексная оценка по основным селекционно-значимым признакам и свойствам нового сорта льна-долгунца Стриж на основе селекционного сортоиспытания. Исследования проводили на дерново-слабоподзолистой хорошо окультуренной почве в условиях Северо-Запада России (Псковская область) в 2018–2020 гг. Наиболее благоприятные гидротермические условия вегетационного периода для роста и развития льна-долгунца сложились в 2019 г. ($ГТК = 1,53$; $I_j = +1,57$), неблагоприятные – в 2018 г. ($ГТК = 0,95$; $I_j = -0,80$). Сорт Стриж – высокоурожайный по льноволокну, раннеспелого типа (вегетационный период 69 суток), созревает на двое-трое суток раньше сорта-стандарта Добрыня. Средняя урожайность льноволокна за годы исследований составила 18,6 ц/га, что достоверно превышает сорт-стандарт на 2,3 ц/га, или 14,1 % ($НСР_{05} = 0,90$ ц/га), максимальная – 20,3 ц/га. По урожайности семян он уступал стандарту (9,9 ц/га) на 1,8 ц/га, или 18,2 %. Новый сорт характеризуется высокой устойчивостью к полеганию (5 баллов) и фузариозному увяданию (85 %), обладает очень высоким содержанием льноволокна в стеблях (40,0...40,6 %), что на 3,1...4,8 % (абс.) выше стандарта, и более лучшим его качеством (прочностью и гибкостью). В производственных условиях обеспечил получение 19,5 ц/га льноволокна, что на 2,3 ц/га, или 13,4 % выше стандарта ($НСР_{05} = 0,96$ ц/га). Имеет наибольшую урожайность в контрастных условиях (генетическая гибкость) – 19,3 ц/га и повышенную стрессоустойчивость (-2,0). Сорт Стриж и стандарт характеризуются слабой вариабельностью урожайности льноволокна ($CV = 9,8-9,6$ %), их отличает также высокая пластичность ($b_i = 1,12-1,17$), что свидетельствует о хорошей отзывчивости данных сортов на улучшение условий среды. Сорт Стриж находится в государственном сортоиспытании с 2021 года.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., сортоиспытание, урожайность, адаптивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2019-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Новый раннеспелый сорт льна-долгунца Стриж для условий Северо-Запада России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):572–580. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.572-580>

Поступила: 05.06.2023

Принята к публикации: 04.08.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

New early ripe variety of fiber flax Strizh for the conditions of the North-West of Russia

© 2023. Alexander D. Stepin ✉, Mikhail N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina, Nadezhda V. Romanova
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The purpose of the research is a comprehensive assessment of the main breeding valuable traits and properties of a new fiber flax variety Strizh on the basis of breeding variety testing. The studies were carried out on sod-weakly podzolic well-cultivated soil in the conditions of the North-West of Russia (Pskov region) in 2018–2020. The most favorable hydrothermal conditions of the growing season for the growth and development of fiber flax were in 2019 ($HTC = 1.53$; $I_j = +1.57$), unfavorable – in 2018 ($HTC = 0.95$; $I_j = -0.80$). The Strizh variety is a high-yielding in flax fiber early-ripening type (the growing season is 69 days) matures 2–3 days earlier than Dobrynya standard variety. The average yield of flax fiber over the years of the research is 18.6 c/ha, which significantly exceeds the standard variety by 2.3 c/ha or 14.1 % ($LSD_{05} = 0.90$ c/ha), maximum yield is 20.3 c/ha. In terms of seed yield, it was inferior to the standard (9.9 c/ha) by 1.8 c/ha or 18.2 %. The new variety is highly resistant to lodging (5 points) and fusarium wilt (85 %). It has a very high flax fiber content in the stems (40.0...40.6 %), which is 3.1...4.8 % (abs.) higher than the standard, and its better quality (strength and flexibility). In production conditions, it provided the production of 19.5 c/ha of flax fiber, that is 2.3 c/ha or 13.4 % higher than the standard ($LSD_{05} = 0.96$ c/ha). It has the highest yield under contrasting conditions (genetic flexibility) – 19.3 c/ha and higher stress resistance (-2.0). The Strizh variety and the standard are characterized by low variability of fiber flax yield ($CV = 9.8-9.6$ %), they are also distinguished by high plasticity ($b_i = 1.12-1.17$), which indicates a good responsiveness of these varieties to improved environmental conditions. The Strizh variety has been in the state variety testing since 2021.

Key words: *Linum usitatissimum* L., variety testing, productivity, adaptability

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Center for Bast Crops (theme No. FGSS-2019-0009).

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

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

For citation: Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. New early ripe variety of fiber flax Strizh for the conditions of the North-West of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):572-580. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.572-580>

Received: 05.06.2023

Accepted for publication: 04.08.2023

Published online: 30.08.2023

Лен-долгунец – исконно русская безотходная техническая культура, все части растения (волокно, семена, костра) которой в качестве сырья широко используются в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в высокотехнологичных отраслях экономики [1, 2, 3]. В последние два десятилетия посевные площади под этой культурой и объемы производства волокнистой продукции сократились более чем в два раза, что создает дефицит в волокнистом сырье. Годовая потребность в льняном волокне в стране составляет более 130 тыс. тонн, а фактическое его производство не превышает 40-42 тыс. тонн. В 2022 году оно составило 36,9 тыс. тонн. Качество льносырья (льнотресты) также остается на низком уровне (№ 0,95...1,1), что сдерживает расширение сфер его использования¹ [4, 5].

В решении сырьевой проблемы важная роль принадлежит селекции, направленной на создание новых высокопродуктивных сортов льна-долгунца, использование которых без дополнительных затрат позволяет на 25-30 % увеличить урожайность льнопродукции, улучшить качество льноволокна и повысить эффективность льноводства [6, 7, 8]. По имеющимся оценкам, вклад сорта в повышение урожайности сельскохозяйственных культур за последние десятилетия оценивается от 30 до 70 %, и нет сомнения, что роль данного фактора в будущем будет возрастать [9, 10].

Селекция льна-долгунца достигла значительных успехов в направлении повышения продуктивности. Только за период с 2017 по 2022 год в Государственный реестр селекционных достижений включено 14 новых отечественных высокопродуктивных сортов льна-долгунца. Многие из них имеют потенциальную урожайность льноволокна 20-25 ц/га и льносемян более 10 ц/га, хорошее качество льноволокна. Вместе с тем урожайность льноволокна в производственных условиях в среднем по стране находится в диапазоне 7,1...9,2 ц/га, что

свидетельствует о слабой реализации биологического потенциала сортов. Данное несоответствие связано, прежде всего, с влиянием неблагоприятных факторов среды [11, 12, 13].

Северо-Западный регион РФ характеризуется большим разнообразием почвенно-климатических условий. В последние годы в регионе под влиянием климатических изменений значительно увеличилась частота экстремальных условий погоды, таких как засуха, переувлажнение, резкие перепады температур, ливневые дожди со шквалистыми ветрами и другое [14, 15].

В связи с этим особую актуальность приобретает создание сортов, сочетающих высокую продуктивность, качество продукции с их экологической устойчивостью к вышеуказанным стрессовым факторам среды [9, 13, 15]. Данное направление в настоящее время является основным в селекционной работе со льном-долгунцом в Псковском НИИСХ [16].

Псковский НИИСХ (ранее Псковская сельскохозяйственная опытная станция, ныне – ОП Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур») является одним из старейших научно-исследовательских учреждений по льну-долгунцу, где впервые в России, в 1910 году, используя ценные местные кражевые льны в качестве исходного материала, были начаты работы по селекции этой культуры. На первых порах, да и в целом в довоенный период, основным методом селекции являлся индивидуальный отбор из ландрасов и кражевых форм, в послевоенный период – гибридизация с последующим целенаправленным индивидуальным отбором. При скрещиваниях в качестве родительских форм используются сорта, гибриды, линии или селекционные номера с последних этапов селекционного процесса с ярко выраженными показателями высокой продуктивности, хорошими биологическими и технологическими признаками качества льносырья, устойчивые к стрессовым факторам среды.

¹Презентация Минсельхоза РФ. [Электронный ресурс].

URL: <https://ank76.pf/wp-content/uploads/2022/09/Рыжов-А.И.pdf> (Дата обращения: 15.03.2023).

Селекционерами нашего научного учреждения выведено 44 сорта льна-долгунца, в том числе 8 за последние два десятилетия. К числу последних относятся сорта Антей, Восход, Орион, Норд, Добрыня, Пересвет, Квартет и Шанс. Сорта льна-долгунца селекции института отличаются, прежде всего, раннеспелостью, высоким содержанием и урожайностью волокна хорошего качества, что способствовало их широкому использованию в производстве. В отдельные годы ими было занято от 30 до 40 % площади посевов льна-долгунца в СССР.

Работа по созданию высокопродуктивных с хорошим качеством волокна сортов льна-долгунца, устойчивых к неблагоприятным условиям среды, в институте продолжается. Одним из таких сортов является Стриж, выведенный путем отбора из гибрида, полученного от скрещивания сорта Восход и селекционного образца П-3931, в создании которого принимали участие сорта А-29, Псковский 6 и Тверской.

Цель исследований – комплексная оценка нового сорта льна-долгунца Стриж по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности на основании данных селекционного сортоиспытания в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации.

Научная новизна – создание нового раннеспелого сорта льна-долгунца Стриж, обладающего повышенной продуктивностью и адаптивностью в условиях Северо-Западного региона РФ.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле ОП Псковский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в севообороте лаборатории селекционных технологий в течение 2018-2020 гг. Объектом изучения являлся новый сорт льна-долгунца Стриж. В качестве стандарта использовали районированный в области раннеспелый сорт Добрыня селекции института.

Почва участка – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на моренном суглинке со следующими агрохимическими показателями: $pH_{\text{сол}}$ – 5,2, содержание подвижного фосфора (P_2O_5) – 265 мг/кг почвы и обменного калия (K_2O) – 182 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 2,3 % (по Тюрину).

Система обработки почвы включала следующие агротехнические приемы: обработка поля от сорняков гербицидом сплошного действия Торнадо-540 с нормой расхода – 1,5 л/га, зяблевая вспашка, предпосевная обработка в два следа дисковым БДМ-У-3х2П и предпосевное прикатывание. Под предпосевную обработку вносили азофоску (16:16:16) – 1,5 ц/га. Закладку опытов, учеты и наблюдения проводили в соответствии с методическими указаниями по селекции и первичному семеноводству льна-долгунца².

Семена высевали тракторной сеялкой Саксония с междурядьями 10 см. Площадь делянки 25 м², повторность 4-кратная, норма высева 21 млн всх. семян на 1 га. Урожай убирали вручную. Метод учета урожая льносоломой и льносемян – сплошной, поделочный. Содержание волокна в соломе определяли методом тепловой мочки³. Статистическую обработку результатов исследований проводили методами дисперсионного и вариационного анализа по Б. А. Доспехову⁴ с использованием программы Microsoft Office Excel 2003. Индекс условий среды (I_s) и коэффициент регрессии (b_i) определяли по методике С. А. Эберхарта и У. А. Рассела (S. A. Eberhart, W. A. Russell)⁵, показатели стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) – по уравнениям А. А. Россизель и Д. Хэмблин (A. A. Rossielle, J. Hamblin) (1981) в изложении А. А. Гончаренко [17].

Метеорологические условия 2018-2020 гг. заметно отличались по температурному режиму и количеству выпавших осадков (табл. 1), что позволило дать объективную оценку сортам по продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Вегетационный период 2018 года отличался повышенным температурным фоном и дефицитом влаги. Среднесуточные температуры воздуха за май, июнь, июль, август превышали среднегодовые данные соответственно на 3,6-0,5-1,8-1,7 °С и в среднем за сезон она составила 17,6 °С при среднегодовой 15,7 °С. За этот период выпало 209 мм осадков, или 65,9 % от нормы. Гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову в целом за вегетационный период составил 0,95 при оптимуме 1,3-1,6⁶, что характеризует его как слабозасушливый.

²Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской ГУ, 2014. 140 с.

³Арно А. А., Гращенко М. Г., Шиков С. А. Методики технологической оценки продукции льна и конопли. М., 1961. 184 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁵Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966;6(1):38-40.

DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

⁶Справочник льноводов. М.: Россельхозиздат, 1969. 215 с.

Особенно засушливым был май (ГТК = 0,37), недостаток влаги отмечался в июне (ГТК = 1,02) и июле (ГТК = 0,72). Все это оказало нега-

тивное влияние на рост и развитие растений и, в конечном счете, на урожайность льноволокна и льносемян.

Таблица 1 – Метеорологические условия в годы проведения исследований /
Table 1 – Meteorological conditions during the years of the research

| Год / Year | Месяц / Month | | | | В среднем (в сумме) / On average (in total) | |
|--|---------------|------------|------------|-------------------|--|--------------------------|
| | май/ may | июнь/ june | июль/ july | август/ august | май-август / may-august | июнь-июль / june-july |
| Среднесуточная температура, °C / Average daily temperature, °C | | | | | | |
| 2018 | 15,8 | 16,3 | 20,1 | 18,2 | 17,6 | 18,2 |
| 2019 | 12,4 | 19,1 | 16,4 | 16,3 | 16,1 | 17,8 |
| 2020 | 10,2 | 19,5 | 17,3 | 16,9 | 16,0 | 18,4 |
| В среднем / On average | 12,2 | 15,8 | 18,3 | 16,5 | 15,7 | 17,1 |
| Среднемесячные осадки / Average monthly precipitation, мм | | | | | | |
| 2018 | 18 | 50 | 45 | 96 | 209 | 95 |
| 2019 | 98 | 22 | 101 | 61 | 282 | 123 |
| 2020 | 46 | 43 | 67 | 50 | 206 | 110 |
| В среднем / On average | 55 | 92 | 76 | 94 | 317 | 168 |
| ГТК Селянинова / HTC of Selyaninov | | | | | | |
| 2018 | 0,37 | 1,02 | 0,72 | 1,70 | 0,95 | 0,87 |
| 2019 | 2,55 | 0,38 | 1,99 | 1,21 | 1,53 | 1,18 |
| 2020 | 1,45 | 0,74 | 1,25 | 0,95 | 1,05 | 0,97 |
| В среднем / On average | 1,45 | 1,94 | 1,34 | 1,84 | 1,64 | 1,64 |

Гидротермические условия вегетационного периода 2019 года были относительно благоприятными для роста и развития льна-долгунца: среднесуточная температура воздуха – 16,1 °C, сумма осадков – 282 мм, ГТК по Селянинову – 1,53. Эти показатели были на уровне среднеемноголетних – 16,0 °C, 318 мм, 1,50 соответственно.

Погодные условия вегетационного периода 2020 года складывались не вполне благоприятно для роста и развития льна-долгунца. Среднесуточная температура воздуха в целом за этот период была на уровне среднеемноголетней – 16,0 °C, сумма осадков составила 206,0 мм – 65 % от нормы; ГТК по Селянинову – 1,05, что характеризует его как недостаточно увлажненный. Особенно неблагоприятные по влагообеспеченности погодные условия сложились во 2 и 3 декадах июня, когда среднесуточная температура воздуха находилась в пределах 20,9-21,3 °C, превышая среднеемноголетнюю на 4,7-4,3 °C при сумме осадков 9,3-4,0 мм (32,0-10,8 % от нормы). Подобная ситуация сохранялась и в 1-2 декадах июля. Сложившиеся в июне-начале июля метеоусловия совпали с периодом быстрого роста льна-долгунца,

что отрицательно повлияло на высоту растений и, в конечном счете, на урожайность льнопродукции.

Производственную проверку сорта Стриж в сравнении со стандартом – сортом Добрыня проводили в 2021 году на опытном поле института. Площадь делянки – 0,5 га, повторность двукратная, предшественник – многолетние травы. Технология возделывания льна-долгунца такая же, как и в селекционном сортоиспытании. Вегетационный период 2021 года был достаточно сложным, в мае ГТК составил 3,94, в июне-июле – 0,68-0,64, а в августе 3,02. Это отразилось на урожайности.

Результаты и их обсуждение. Условия выращивания льна-долгунца в годы проведения исследований заметно различались. Из расчета индексов условий среды (I_j) следует, что наиболее благоприятные условия для формирования урожайности льноволокна сложились в 2019 году ($I_j = +1,57$), худшие в 2018 ($I_j = -0,8$) и 2017 ($I_j = -0,77$) годах. Соответственно урожайность льноволокна испытываемых образцов в селекционном сортоиспытании составила 18,0 ц/га в благоприятном 2019 году, в 2018 и 2020 годах – 15,6 и 15,7 ц/га соответственно.

Одним из основных биологических и хозяйственных признаков, определяющих возможность получения высокого урожая льна-долгунца в конкретных климатических условиях и своевременную его уборку, является продолжительность вегетационного периода. Для условий Северо-Западного региона наиболее пригодны раннеспелые и среднеспелые сорта льна-долгунца [13]. За годы исследований продолжительность вегетационного периода зависела от складывающихся метеоусловий на

протяжении всего периода вегетации. У сорта Стриж она варьировала в пределах 65-73 суток, у стандарта Добрыня – 67-76 суток (табл. 2), в среднем за 3 года вегетационный период у сорта-стандарта Добрыня составил 72 суток, у сорта Стриж – 69 суток, что на трое суток короче стандарта. Подобная зависимость между ними по данному признаку наблюдалась как в благоприятный (2019 г), так и в неблагоприятные (2018, 2019 гг.) по погодным условиям годы.

Таблица 2 – Характеристика сорта льна-долгунца Стриж по биологическим и хозяйственно ценным признакам (ОП Псковский НИИСХ, селекционное сортоиспытание, 2018-2020 гг.)

Table 2 – Characteristics of the Strizh fiber flax variety according to biological and agronomic traits (A separate division of the Pskov Research Institute, breeding variety testing, 2018-2020)

| Показатель / Indicator | 2018 г. | | 2019 г. | | 2020 г. | | Среднее за 2018-2020 гг. / Average for 2018-2020 | | |
|--|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--|
| | Стриж / Strizh | ст. Добрыня / st. Dobrynya | Стриж / Strizh | ст. Добрыня / st. Dobrynya | Стриж / Strizh | ст. Добрыня / st. Dobrynya | Стриж / Strizh | ст. Добрыня / st. Dobrynya | ± к станд- дарту / ± to the standard |
| Урожайность, ц/га / Yield, c/ha: | | | | | | | | | |
| - льносолумы / straw | 45,0* | 40,5 | 50,2 | 49,6 | 42,9 | 44,3 | 46,0 | 44,8 | +1,2 |
| - льноволокна / fiber | 18,3* | 15,2 | 20,3* | 18,1 | 17,2* | 15,6 | 18,6* | 16,3 | +2,3 |
| - льносемян / seeds | 5,5 | 6,5 | 8,9 | 11,3 | 8,7 | 10,8 | 7,7 | 9,5 | -1,8 |
| Содержание льноволокна, % / Fiber content, % | 40,6* | 37,5 | 40,5* | 36,5 | 40,0* | 35,2 | 40,4* | 36,4 | +4,0 |
| Длина вегетационного периода, сутки / Duration of the growing season, days | 73 | 76 | 70 | 72 | 65 | 67 | 69 | 72 | +3 |
| Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, points | 5 | 5 | 5 | 4,8 | 5 | 5 | 5,0 | 4,9 | -0,1 |
| Общая высота, см / Total height, cm | 81 | 81 | 68 | 70 | 61 | 65 | 70 | 72 | -2 |
| Устойчивость к фузариозу, % / Resistance to fusarium, % | 59 | 67 | 99 | 99 | 97 | 97 | 85 | 88 | -3 |
| Прочность волокна, кгс / Fiber strength, kgs | 19,6 | 16,7 | 23,3 | 23,3 | 23,7 | 22,8 | 22,2 | 20,7 | +1,5 |
| Гибкость волокна, мм / Fiber flexibility, mm | 54,2 | 50,8 | 57,7 | 54,4 | 51,5 | 46,8 | 54,5 | 50,6 | +3,9 |

*Достоверно при 95%-ном уровне значимости / *Statistically significant at 95% level of significance

Высота растений является одним из характерных и важных морфологических признаков льна-долгунца. Она тесным образом связана с урожайностью льносолумы и льноволокна. В среднем за 2018-2020 годы высота растений у сорта Стриж составила 70 см, стандарта Добрыня – 72 см, разница находилась в пределах ошибки опыта ($HC_{05} = 3,9$ см).

Устойчивость растений к полеганию обуславливает пригодность сорта к механизированной уборке и обеспечивает получение льнопродукции отличного качества. Оба сорта отличаются высокой степенью устойчивости к полеганию (4,8-5,0 баллов). У сорта Стриж полегания растений не отмечалось во все годы исследований, у стандартного сорта Добрыня

оно наблюдалось в слабой степени в благоприятном по метеоусловиям 2019 году (ГТК = 1,53).

Наиболее распространенным и вредоносным заболеванием льна-долгунца в условиях региона является фузариозное увядание. Поэтому устойчивость к нему является важнейшим требованием при выведении новых сортов льна-долгунца. Сорт Стриж также, как и стандарт – сорт Добрыня, в два года из трех (2019 – благоприятный, 2020 – засушливый) отличались высокой степенью устойчивости к фузариозному увяданию (99-97 %), в неблагоприятном 2018 году – средней (59-67 %). По средним за годы исследований данным, оба сорта характеризовались высокой устойчивостью к фузариозу (85-88 %) на искусственном фузариозном фоне.

Содержание льноволокна в растениях является важнейшим показателем сорта, от которого во многом зависит и урожайность льноволокна. У сорта Стриж содержание было очень высоким и стабильным по годам, находясь в пределах 40,0...40,6 %, достоверно превышая стандарт на 3,1...4,8 % (абс.). В среднем за 2018-2020 годы содержание льноволокна в стеблях у сорта Стриж составило 40,4 %, у сорта-стандарта Добрыня – 36,4 %.

Сорт Стриж и стандарт Добрыня отличались прочностью и гибкостью льноволокна, что свидетельствует о хороших прядильных свойствах этих сортов. Сорт Стриж практически во все годы несколько превосходил стандарт по данным показателям. В среднем за три года у сорта Стриж прочность льноволокна составила 22,2 кгс, а гибкость – 54,5 мм, что превышало стандарт на 1,5 кгс и 3,9 мм соответственно.

Урожайность льносоломки у сорта Стриж за годы исследований изменялась в пределах 42,9...50,2 ц/га, превышая стандарт в отдельные годы на 0,6...4,5 ц/га. При этом только в 2018 году прибавка была достоверной. В среднем за 3 года урожайность льносоломки у сорта Добрыня составила 44,8 ц/га, у сорта Стриж на 1,2 ц выше – 46,0 ц/га.

По урожайности льносемян новый сорт во все годы проведения опыта достоверно уступал стандарту на 1,0...2,4 ц/га, в среднем она составила 7,7 ц/га.

Урожайность льноволокна у сорта Стриж за годы исследований варьировала в пределах

18,3...20,3 ц/га, у сорта Добрыня – от 15,2 до 18,11 ц/га, при среднем значении признака 18,6 и 16,3 ц/га соответственно. Прибавки урожая у сорта Стриж в сравнении со стандартом были достоверными и колебались от 1,6 до 3,1 ц/га (9,3...21,4 %), по средним данным прибавка составила 2,3 ц/га (14,1 %). Следует отметить, что относительные прибавки урожая льноволокна у сорта Стриж составили 12,1 % в благоприятном по метеоусловиям 2019 году (ГТК = 1,53), в котором была получена наивысшая урожайность 20,3 ц/га, в засушливом 2018 году (ГТК = 0,95) – 20,3 %. Это свидетельствует о большей засухоустойчивости нового сорта в сравнении со стандартом.

Как показали результаты исследований, сорт Стриж в большей степени адаптирован к неблагоприятным факторам окружающей среды (табл. 3). По признаку «урожайность льноволокна» он отличается более высокой стрессоустойчивостью, которая представляет собой разницу между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max} = -2,0$) и генетической гибкостью – средней урожайностью за эти же годы ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2 = 19,3$ ц/га). У стандарта – сорта Добрыня значения этих показателей равнялись соответственно -2,9 и 16,6 ц/га. Новый сорт отличался и более высокой реализацией потенциала (как отношение средней урожайности за годы исследований к максимальной, выраженное в процентах) – 91,6 % при 90,0 % у стандарта. Изменчивость урожайности льноволокна по годам исследований у сорта Стриж, как и сорта Добрыня, была слабой и находилась на одном уровне ($CV = 9,8-9,6$ %). Оба эти сорта характеризовались высокой пластичностью ($b_i = 1,12-1,17$), что свидетельствует о хорошей их отзывчивости на улучшение условий среды.

Результаты производственной проверки нового сорта Стриж в сравнении со стандартом – сортом Добрыня показали, что урожайность льносоломки у сорта Стриж составила 48,9 ц/га, льносемян – 7,2 ц/га, у стандарта – соответственно 47,8 и 8,0 ц/га. Сорт Стриж отличался более высоким содержанием льноволокна – 39,9 % (у стандарта 36,1 %), по урожайности льноволокна достоверно при 95%-ном уровне значимости превзошел на 2,3 ц/га (13,4 %) сорт-стандарт (17,2 ц/га).

Таблица 3 – Урожайность льноволокна и параметры адаптивности у льна-долгунца сорта Стриж (ОП Псковский НИИСХ, селекционное сортоиспытание, 2018-2020 гг.)

Table 3 – Flax fiber yield and adaptability parameters in the Strizh variety (A separate division of the Pskov Research Institute, breeding variety testing, 2018-2020)

| Сорт / Variety | Урожайность льноволокна, ц/га / Flax fiber yield, c/ha | | | Параметры адаптивности / Adaptability parameters | | | |
|---------------------------------------|---|-------|----------------------|---|-----------------------|-----|-------|
| | min | max | среднее / average | $Y_{min} - Y_{max}$ | $Y_{max} + Y_{min}/2$ | CV | b_i |
| Стриж / Strizh | 18,3 | 20,3 | 18,6 | -2,0 | 19,3 | 9,8 | 1,12 |
| Добрыня, ст. / Dobrynya, st. | 15,2 | 18,1 | 16,3 | -2,9 | 16,6 | 9,6 | 1,17 |
| НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,86 | 1,22 | 0,96 | - | - | - | - |
| I _j | -0,8 | +1,57 | - | - | - | - | - |

Примечания: CV – коэффициент вариации, %; b_i – пластичность (коэффициент регрессии), $Y_{min} - Y_{max}$ – стрессоустойчивость; $Y_{max} + Y_{min}/2$ – генетическая гибкость (средняя урожайность в контрастных условиях), ц/га

Notes: CV – coefficient of variation, %; b_i – plasticity (regression coefficient); $Y_{min} - Y_{max}$ – stress resistance; $Y_{max} + Y_{min}/2$ – genetic flexibility (average yield under contrasting conditions), c/ha

Заключение. На основании многолетних исследований ОП Псковский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК выведен и передан на государственное сортоиспытание новый высокоурожайный пластичный сорт льна-долгунца Стриж с высоким уровнем хозяйственно ценных признаков. Отличительная особенность сорта – раннеспелость и высокая волокнистость, созревает на двое-трое суток раньше районированного сорта Добрыня (стандарт) и превосходит его по содержанию льноволокна в стебле на 11 % (4 абс.%), высокоустойчив к полеганию (5 баллов) и фузариозу (85 %). В среднем за годы селекционного сортоиспытания получено 46 ц/га льносоломы,

7,7 ц/га – льносемян и 18,6 ц/га – льноволокна. В сравнении со стандартом он в большей степени адаптирован к условиям внешней среды. Сорт пластичный ($b_i = 1,12$), обладает высоким потенциалом урожайности льноволокна в благоприятные (20,3 ц/га) и неблагоприятные (18,3 ц/га) по метеоусловиям годы (у сорта-стандарта Добрыня – 18,1 и 15,2 ц/га соответственно). Возделывание нового сорта в производстве позволит увеличить валовые сборы льноволокна и тем самым положительно скажется на решении сырьевой проблемы по льноволокну в стране.

Список литературы

1. Рожмина Т. А., Понажев В. П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России. Вестник Российской академии естественных наук. 2015;15(1):59-63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23480557> EDN: TTVLNL
2. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. Australian Journal of basic and Applied Sciences. 2010;4(9):4304-4312. URL: <https://agronomy.unl.edu/documents/jhala-2010-30.pdf>
3. Ушаповский И. В., Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбаченко А. А., Галкин А. В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения. Молочнохозяйственный вестник. 2017;(1(25)):166-186. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28914488> EDN: YITDCX
4. Мигулев П. И., Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Андрощук В. С. Лен: проблемы и перспективы. Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: сб. науч. тр. по мат-лам Национальной научн.-практ. конф. Тверь: изд-во Тверской ГСХА, 2019. С. 199-201. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37651492&pff=1> EDN: GHQQEF
5. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Понажев В. П., Захарова Л. М. Льняная отрасль на пути к возрождению. Защита и карантин растений. 2018;(1):3-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32368923> EDN: YNMXFE
6. Павлова Л. Н., Герасимова Е. Г., Румянцева В. Н., Кудрявцева Л. П. Новые сорта льна-долгунца – основа повышения эффективности отрасли льноводства. Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы. Сб. науч. тр. Тверь: Тверской ГУ, 2018. С. 23-25.
7. Степин А. Д., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Внедрение новых сортов льна-долгунца Псковской селекции в производство. Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: сб. мат-лов Международ. научн.-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ. Тверь, 2016. С. 66-71.
8. Трабурова Е. А., Конова А. М., Гаврилова А. Ю., Зуева С. М., Чехалков С. М. Сравнительная характеристика среднеспелых сортов льна-долгунца смоленской селекции. Аграрный вестник Урала. 2020;(1(192)):28-34. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34> EDN: SOKEZH

9. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: РУДН, 2001. Т. 1. 780 с.
10. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus> EDN: WZJQEN
11. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(2):141-151. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151> EDN: AYBHKH
12. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А. Изучение коллекционных образцов коллекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.). Достижения науки и техники АПК. 2018;32(11):40-42. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11110> EDN: Y TALOP
13. Куземкин И. А., Рожмина Т. А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):666-674. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674> EDN: NPVLYV
14. Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д., Сиптиц С. О., Романенко И. А., Бартаев С. А., Савин Ю. И. Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. 203 с.
15. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J., Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania. Agronomy Research. 2009;7(1):59-72.
16. Степин А. Д., Рысев М. Н., Кострова Г. А., Уткина С. В. Основные направления и результаты научных исследований Псковского НИУ по селекции льна-долгунца. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(2):14-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097> EDN: TZRKQJ
17. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник РАСХН. 2005;(6):49-53.

References

1. Rozhmina T. A., Ponazhev V. P. Condition and prospects of development of linen sector of Russia. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk* = Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. 2015;15(1):59-63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23480557>
2. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. Australian Journal of basic and Applied Sciences. 2010;4(9):4304-4312. URL: <https://agronomy.unl.edu/documents/jhala-2010-30.pdf>
3. Ushchapovskiy I. V., Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. A., Galkin A. V. System problems of flax growing in Russia and abroad, the possibilities of their solution. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2017;(1(25)):166-186. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28914488>
4. Migulev P. I., Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Androshechuk V. S. Flax: problems and prospects. Innovative approaches to the development of science and production in the regions: Collection of scientific works according to the proceedings of the National scientific and practical. conf. Tver: *izd-vo Tverskoy GSKhA*, 2019. pp. 199-201. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37651492&pf=1>
5. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. Linen industry on the way to revival. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(1):3-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32368923>
6. Pavlova L. N., Gerasimova E. G., Rummyantseva V. N., Kudryavtseva L. P. New varieties of fiber flax are the basis for increasing the efficiency of the flax industry. Scientific support for the production of fiber crops: state, problems and prospects. Collection of scientific works. Tver: *Tverckoy GU*, 2018. pp. 23-25.
7. Stepin A. D., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Introduction of new varieties of fiber flax of Pskov breeding into production. Innovative developments for the production and processing of bast fiber crops: Collection of materials of International scientific-practical conf. FGBNU VNIIML. Tver, 2016. pp. 66-71.
8. Traburova E. A., Konova A. M., Gavrilova A. Yu., Zueva S. M., Chekhalkov S. M. Comparative characteristics of medium-maturing varieties of fiber-flax of smolensk selection. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;(1(192)):28-34. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34>
9. Zhuchenko A. A. Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic bases). Moscow: RUDN, 2001. Vol. 1. 780 p.
10. 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>
11. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):141-151. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151>
12. Traburova E. A., Rozhmina T. A. Examination of collection samples of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(11):40-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11110>

13. Kuzemkin I. A., Rozhmina T. A. Screening of accessions from fiber flax collection by productivity and their adaptability to the conditions of the North-West region of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):666-674. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674>

14. Gordeev A. V., Kleshchenko A. D., Chernyakov B. A., Sirotenko O. D., Siptits S. O., Romanenko I. A., Bartalev S. A., Savin Yu. I. Bioclimatic potential of Russia: productivity and rational distribution of agricultural crops in the context of climate change. Moscow: *Tipografiya Rossel'khozakademii*, 2012. 203 p.

15. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J. Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania. *Agronomy Research*. 2009;7(1):59-72.

16. Stepin A. D., Rysev M. N., Kostrova G. A., Utkina S. V. The main directions and results of scientific research of the Pskov National Research University on fiber flax breeding. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(2):14-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>

17. Goncharenko A. A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik RASKhN*. 2005;(6):49-53. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Степин Александр Дмитриевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зам. директора обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Рысев Михаил Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-7593>

Рысева Тамара Андреевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5420-8419>

Уткина Светлана Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7006-6713>

Романова Надежда Владимировна, научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4661-7810>

Information about the authors

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

Mikhail N. Rysev, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-7593>

Tamara A. Ryseva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5420-8419>

Svetlana V. Utkina, senior researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7006-6713>

Nadezhda V. Romanova, researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira street, v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4661-7810>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании

© 2023. Н. А. Орлянская✉, Н. А. Орлянский, Д. С. Чеботарёв

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы»
(Воронежский филиал), Воронежская область, Российская Федерация

В статье представлены результаты экологического испытания, проведенного в 2022 г. с целью определения адаптивности гибридов кукурузы и выявления генотипов, пригодных для выращивания в условиях с лимитированным периодом вегетации. В опыте изучены 10 новых раннеспелых (FAO 130-150) гибридов кукурузы в 6 селекционно-семеноводческих учреждениях – экологических пунктах, территориально расположенных в 4 почвенно-климатических зонах Российской Федерации: Центрально-Чернозёмном, Северо-Кавказском, Уральском и Западно-Сибирском регионах. Гибриды оценивали по пластичности (b_i), стабильности (σ_d^2) и селекционным индексам: селекционной ценности сорта (S_v), селекционному индексу (S_i) и индексу селекционной ценности сорта (S_{vi}). Благоприятные условия среды отмечены в пунктах Нальчик ($I_j = +1,51$), Белгород ($I_j = +0,18$) и Воронеж ($I_j = +0,04$), лимитированные – Челябинск ($I_j = -1,09$), Омске ($I_j = -0,56$) и Пятигорск ($I_j = -0,08$). Самая высокая урожайность зерна в среднем отмечена у гибрида 140/26 (6,50 т/га), превышение над лучшим стандартом составило 1,15 т/га. В благоприятных условиях по урожайности зерна выделены гибриды 140-28 (7,66 т/га) и 140/24 (7,65 т/га), в лимитированных – 100/28 (5,42 т/га). Пониженная уборочная влажность зерна отмечена у гибридов 100/24 (18,7 %), 140/25 (19,0 %) и 100/27 (20,5 %). Установлены гибриды 140/24 ($b_i = 1,82$, $\sigma_d^2 = 0,08$), 140/28 ($b_i = 1,54$, $\sigma_d^2 = 0,09$), 100/26 ($b_i = 1,45$, $\sigma_d^2 = 0,17$), сочетающие высокую экологическую пластичность и стабильность, рекомендуемые для интенсивных условий выращивания. Показано, что применение методики оценки гибридов кукурузы по селекционным индексам позволяет выявить регионально ориентированные генотипы. Выделены перспективные гибриды 100/28 ($S_{vi} = 8,44$) и 100/27 ($S_{vi} = 8,26$) с оптимальным балансом экологической стабильности, урожайности и уборочной влажности зерна, пригодные для выращивания в лимитированных условиях с ограниченной продолжительностью вегетационного периода.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.), урожайность зерна, влажность зерна, пластичность, стабильность, селекционные индексы

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» (тема № FNMG-2022-0006). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарёв Д. С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(4):581-591.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591>

Поступила: 02.04.2023

Принята к публикации: 27.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Comparative indexing of early-maturing corn hybrids in multi-environment trial

© 2023. Natalya A. Orlyanskaya✉, Nikolay A. Orlyansky, Dmitry S. Chebotarev

All-Russian Research Institute of Maize (affiliated branch in Voronezh), Voronezh region, Russian Federation

The article shows the results of a multi-environment trial which was conducted in 2022 to determine the adaptability of corn hybrids and identify genotypes which are better to choose for a short growing season. Ten new early-maturing (FAO 130-150) corn hybrids were studied in 6 plant breeding organisations – ecological sites in 4 soil-climatic zones of Russia such as the Central Black Earth region, North Caucasus, Urals, West Siberia. The corn hybrids were evaluated by plasticity (b_i), stability (σ_d^2) and selection indices: the breeding value of the cultivar (S_v), the selection index (S_i) and the selection value index of the cultivar (S_{vi}). Nalchik ($I_j = +1.51$), Belgorod ($I_j = +0.18$) and Voronezh ($I_j = +0.04$) had favourable environmental conditions, unfavourable environments were in Chelyabinsk ($I_j = -1.09$), Omsk ($I_j = -0.56$) and Pyatigorsk ($I_j = -0.08$). Hybrid 140/26 had the highest grain yield (6.50 t/ha) on average, it exceeded the best standard by 1.15 t/ha. The hybrids 140-28 had the highest mean yield (7.66 t/ha) and 140/24 (7.65 t/ha) under favourable conditions, hybrid 100/28 was the best (5.42 t/ha) in unfavourable environments. Hybrids 100/24 (18.7 %), 140/25 (19.0 %), 100/27 (20.5 %) had the lowest grain moisture at harvest. Hybrids 140/24 ($b_i = 1.82$, $\sigma_d^2 = 0.08$), 140/28 ($b_i = 1.54$, $\sigma_d^2 = 0.09$), 100/26 ($b_i = 1.45$, $\sigma_d^2 = 0.17$) with high ecological plasticity and stability were recommended to grow under intensive growing conditions. It was shown that the application of the technique for evaluating corn hybrids by selection indices makes it possible to identify regionally oriented genotypes. It is better to grow hybrids 100/28 ($S_{vi} = 8.44$) and 100/27 ($S_{vi} = 8.26$), which had an optimal balance of environmental stability, grain yield and grain moisture at harvest, in unfavourable conditions with a short growing season.

Keywords: corn (*Zea mays* L.), corn grain yield, grain moisture, plasticity, stability, selection indices.

Acknowledgments: the research was financially supported by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation within the state assignment of All-Russian Research Institute of Maize (theme No. FNMG-2022-0006).

Conflict of Interest: the authors declared no conflicts of interest.

For citations: Orlyanskaya N. A., Orlyansky N. A., Chebotarev D. S. Comparative indexing of early-maturing corn hybrids in multi-environment trial. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):581-591. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591>

Received: 02.04.2023

Accepted for publication: 27.07.2023

Published online: 30.08.2023

В мировом земледелии кукуруза (*Zea mays* L.) является одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур, используемых для производства продуктов питания, корма для животных и биотоплива [1]. В Российской Федерации кукуруза входит в число основных зерновых культур, востребованных во многих отраслях экономики и способствующих продовольственной безопасности страны [2].

Анализ структуры посевных площадей, занимаемых в Российской Федерации кукурузой, используемой на зерно, показал значительное их увеличение за последнее время. В 2012 г. она занимала 2,06 млн га, в 2013 г. располагалась на площади 2,44 млн га, 2017 г. – 3,02 млн га, в 2022 г. была высеяна на площади 2,84 млн га¹.

Расширение посевов кукурузы, предназначенной для получения зерна, в нашей стране в последнее время происходит в основном за счёт продвижения её на север – в регионы с ограниченными ресурсами тепла и контрастными климатическими условиями [3], где её выращивание, как и любой сельскохозяйственной культуры, сопряжено с определенными рисками. Как свидетельствует К. Шинозаки с соавт. (K. Shinozaki et al.), «...абиотические стрессы, среди которых засуха, низкие и высокие температуры, засоленность почв, недостаток питательных веществ, являются лидирующей причиной падения уровня урожайности, снижающей продуктивность посевов до 50-80 % в зависимости от культуры и географической локации» [цит. по: 4, стр. 989]. Комплекс неблагоприятных факторов окружающей среды – одно из основных препятствий в получении стабильных урожаев всех сельскохозяйственных культур.

Одним из путей решения проблемы получения стабильных урожаев кукурузы является создание стрессоустойчивых генотипов. Необходимость в этом особенно актуальна, учитывая увеличение частоты экстремальных погодных явлений, являющихся причиной экологических стрессов [5]. По мнению многих авторов [6, 7, 8], только адаптивность может обеспечить

стабильность урожая – это важнейшее свойство генотипов, которое должно учитываться в селекционных программах.

В отечественных программах по созданию гибридной кукурузы особое место занимает направление селекции на скороспелость. Основной его целью является выведение раннеспелых гибридов, обладающих способностью формировать высокий урожай за короткий период вегетации и быстрой потерей влаги при созревании зерна [9, 10]. А для гибридов, создаваемых для условий с ограниченной теплообеспеченностью, необходимыми характеристиками являются ещё и минимальные требования к температуре в период прорастания семян и появления всходов, а также энергичный стартовый рост молодых растений [11]. Именно использование таких гибридов способствует расширению ареала возделывания зерновой кукурузы в северные регионы с лимитированным вегетационным периодом, где они позволяют своевременно проводить уборку и экономить энергетические ресурсы на послеуборочное досушивание зерна.

Необходимым этапом изучения новых гибридов является всестороннее сравнительное испытание их в контрастных экологических условиях, которое позволяет получить информацию о норме, стабильности реакции на условия выращивания и определить ареал их возможного распространения [12, 13]. В системе экологического (зонального) испытания проводится оценка гибридов по показателям экологической пластичности и стабильности. Метод основан на расчёте коэффициента линейной регрессии (b_i), характеризующего экологическую пластичность сорта, и среднего квадратичного отклонения от линии регрессии (σ_d^2), определяющего стабильность сорта в условиях среды [14, 15]. Коэффициент линейной регрессии может принимать значения больше, равным и меньше единицы. Чем выше значение коэффициента $b_i > 1$, тем отзывчивее гибрид на улучшение условий возделывания. И, наоборот, если $b_i < 1$,

¹Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства. [Электронный ресурс].

URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Real.ru> (Дата обращения: 21.02.2023).

реакция образца на смену условий слабее, чем в среднем всего набора гибридов. Равный или близкий к нулю коэффициент регрессии свидетельствует о том, что гибрид никак не реагирует на изменения условий среды. В случае, если $b_i = 1$ наблюдается полное соответствие изменения урожайности изменению условий выращивания. Что касается показателя среднеквадратичного отклонения от линии регрессии, то, чем ближе его значение к нулю, тем стабильнее оказывается изучаемый в различных почвенно-климатических условиях образец.

Для кукурузы – культуры южного эколого-географического происхождения, имеющей довольно длительный период вегетации, показатель «влажность зерна при уборке» является одним из самых важных критериев оценки раннеспелости генотипов. И поэтому селекционеры при определении адаптивного потенциала гибридов, предназначенных для использования на зерно, как правило, не ограничиваются оценкой по признаку «урожайность зерна», но также принимают во внимание уровень влажности зерна на момент сбора урожая [16, 17]. При этом применение системы оценок по селекционным индексам позволяет выявлять образцы, оптимально сочетающие высокую урожайность и экологическую стабильность с учётом уборочной влажности зерна [18], поскольку индексы одновременно отражают проявление нескольких показателей.

Цель исследования – оценка продуктивного и адаптивного потенциала новых раннеспелых гибридов кукурузы селекции Воронежского филиала ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» в контрастных климатических условиях Российской Федерации.

Новизна исследований – выявление перспективных экологически стабильных генотипов, обладающих оптимальным проявлением урожайности и уборочной влажности зерна.

Материал и методы. Исследования проводили в 2022 году в экологическом испытании, организованном в рамках Координационного совета по селекции и семеноводству кукурузы учреждений Российской Федерации. Объектом изучения являлись 10 новых раннеспелых гибридов кукурузы, характеризующихся индексами спелости ФАО 130 (гибриды 100/24, 100/25, 100/26, 100/27 и 100/28) и ФАО 150 (гибриды 140/24, 140/25, 140/26, 140/27 и 140/28). Гибриды созданы на базе Воронежского

филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы и выделены на этапах предварительного и конкурсного сортоиспытания в 2020-2021 гг.

Гибриды изучали в 6 селекционно-семеноводческих учреждениях – географических пунктах, территориально относящихся к 4 почвенно-климатическим зонам: в Уральском регионе – ФГОУ ВО Южно-Уральский ГАУ (Челябинск, 55°09' с. ш.); Западно-Сибирском регионе – Сибирский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы (Омск, 54°58' с. ш.); Центрально-Чернозёмном регионе – Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы (Воронеж, 51°40' с. ш.) и ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» (Белгород, 50°36' с. ш.); Северо-Кавказском регионе – ФГБНУ ВНИИ кукурузы (Пятигорск, 44°03' с. ш.) и ООО ИПА Агрофирма «Отбор» (Нальчик, 43°29' с. ш.).

Климат Уральского и Западно-Сибирского регионов – континентальный, для которого характерны резкие и существенные перепады температур, даже в течение суток. Центрально-Чернозёмный и Северо-Кавказский регионы расположены в области умеренно-континентального климата с более мягкими и тёплыми погодными условиями. Основными ограничивающими факторами формирования зерновой продуктивности кукурузы как в Уральском, так и Западно-Сибирском регионах являются: на севере – дефицит тепла, на юге – периодическая засушливость [19, 20]. В Северо-Кавказском и Центрально-Чернозёмном регионах получение высоких урожаев часто сдерживается недостатком влаги [3, 21].

Для получения сравнимых результатов полевые опыты во всех пунктах закладывали по единой методике² с применением традиционных зональных технологий возделывания культуры с набором сходных агроприёмов. Дополнительные технологические приёмы в виде подкормки растений и двух вегетационных поливов применяли в Нальчике. Подкормку растений жидким удобрением КАС с нормой 100 л/га проводили в первую декаду июня. Поливы применяли во второй декаде июня и второй декаде июля нормой 400 м³/га каждый.

Опыты во всех пунктах закладывали в трёхкратной повторности на делянках с учётной площадью 9,8 м². Календарные сроки посева/появления всходов: в Челябинске – 12 мая/29 мая, Омске – 5 мая/19 мая, Воронеже – 12 мая/31 мая, Белгороде – 10 мая/27 мая, Пятигорске и Нальчике – 24 апреля/6 мая. Фактическая густота

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 200 с.

растений в опытах перед уборкой составляла (тыс. га): 59,2 – в Челябинске, 51,8 – Омске; 60,8 – Воронеж; 70,4 – Белгороде; 78,0 – Пятигорске; 69,4 – Нальчике.

Урожай учитывали после созревания гибридов-стандартов методом сплошной уборки с определением уборочной влажности зерна, урожайность зерна приведена к стандартной влажности (14 %). Сроки учёта урожая: в Челябинске – 5 октября, Омске – 20 сентября, Пятигорске – 8 сентября, Нальчике – 23 августа. В пунктах Центрально-Чернозёмного региона наступление фазы «полная спелость» гибридов (влажность зерна 28 %) отмечено в первой декаде сентября, но обильные и продолжительные дожди не позволили провести уборку в срок. В Белгороде учёт урожая проводили 17 октября, в Воронеже – 25 октября.

Для оценки адаптивного потенциала гибридов использовали методику С. А. Эберхарта и В. А. Рассела (S. A. Eberhart и W. A. Russell) в изложении В. А. Зыкина с соавторами³. Селекционную ценность гибридов определяли по следующим показателям: селекционный индекс, или индекс урожайности ($C_{и}$) – рассчитан по В. С. Сотченко⁴; селекционная ценность сорта ($C_{ц}$) и индекс селекционной ценности сорта ($C_{иц}$) – определяли по методике, предложенной Н. А. Орлянским⁵.

Селекционный индекс ($C_{и}$) рассчитывали по формуле:

$$C_{и} = Y \div B, \quad (1)$$

где Y – урожайность зерна,

B – уборочная влажность зерна.

Для вычисления селекционной ценности сорта ($C_{ц}$) при испытании в 5-6 и более пунктах использовали формулу:

$$C_{ц} = \bar{X}^2 \cdot (\bar{X}_{lim} \div \bar{X}_{opt}), \quad (2)$$

где \bar{X}^2 – средняя урожайность по всем пунктам, возведенная в квадрат; \bar{X}_{lim} – средняя урожайность по лимитированным пунктам; \bar{X}_{opt} – средняя урожайность по оптимальным пунктам.

Селекционный индекс ценности сорта ($C_{иц}$) определяли по формуле:

$$C_{иц} = C_{и} \cdot C_{ц}, \quad (3)$$

где $C_{и}$ – селекционный индекс;

$C_{ц}$ – селекционная ценность сорта.

Согласно используемой методике, количество пунктов для вычисления оптимальных и лимитированных ограничивается двумя-тремя. В качестве оптимальных пунктов в нашем опыте были приняты Нальчик и Белгород, в качестве лимитированных – Челябинск и Омск. Пункты Воронеж и Пятигорск с индексами среды, близкими к нулевым значениям, в расчёт не принимались.

Достоверность различий в опыте оценивали по результатам статистической обработки экспериментальных данных методом дисперсионного анализа двухфакторного опыта⁶ с использованием надстройки «анализ данных» табличного процессора Microsoft Excel 2016.

Результаты и их обсуждение. В пунктах проведения исследований отмечены различные по температурному режиму и увлажнению условия (табл. 1). В Омске среднемесячная температура воздуха в мае и июне была выше на 4,0 и 0,9 °C соответственно, чем в Челябинске, расположенном с вышеназванным пунктом практически на одной широте. В обеих точках отмечено колебание количества осадков по месяцам, но в условиях Челябинска их было значительно меньше в июле и августе (на 82,3 и 23,2 мм соответственно) на фоне более высоких температур (выше на 0,3 и 2,9 °C соответственно) и большей густоты стояния растений (на 7,4 тыс/га). Отмеченные различия обеспечили более благоприятный фон для формирования урожая зерна кукурузы в условиях Омска. Температурный режим близких по широте пунктов Воронеж и Белгород по месяцам практически не отличался, за исключением мая, когда среднесуточная температура воздуха в Воронеже была ниже на 1,0 °C аналогичного периода в Белгороде. Это привело к удлинению периода появления всходов в условиях Воронежа на двое суток. В обоих пунктах отмечено колебание осадков по месяцам с преимуществом одного или другого пункта по отдельным периодам. Но в условиях Воронежа в августе наблюдался значительный дефицит осадков, за месяц выпало всего 20 мм. В то же время в Белгороде сумма осадков за этот период составила 55 мм, что превышало климатическую

³Зыкин В. А., Мешков В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск, 1984. 24 с.

⁴Сотченко В. С. Селекция и семеноводство раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. С.-Пб., 1992. 48 с.

⁵Орлянский Н. А. Селекция и семеноводство зерновой кукурузы на повышение адаптивности в условиях Центрального Черноземья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж, 2004. С. 19-23.

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.

норму. Перечисленные отличия способствовали некоторому преимуществу в формировании лучших условий для роста и развития растений кукурузы в условиях Белгорода. В близко расположенных пунктах Северного Кавказа – Пятигорске и Нальчике условия по тепло- и влагообеспеченности были сходными по месяцам. При этом следует отметить, что посевы в Пятигорске были на 8,6 тыс/га более загущены, это

расценивается как негативный фактор в условиях дефицита влаги в фазы «цветение» растений кукурузы и «налив» зерна. Значительное преимущество для накопления сухого вещества было обеспечено в условиях Нальчика с применением подкормки растений в фазу активного роста, а также вегетационных поливов, особенно в июле, когда наблюдался существенный дефицит атмосферных осадков.

Таблица 1 – Метеорологические условия периода вегетации кукурузы в географических пунктах испытания гибридов (2022 г.) /

Table 1 – Meteorological conditions of the maize growing season at geographic locations of hybrid trials (2022)

| Месяц / Month | Челябинск / Chelyabinsk | Омск / Omsk | Воронеж / Voronezh | Белгород / Belgorod | Пятигорск / Pyatigorsk | Нальчик / Nalchik |
|--|----------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| Среднемесячная температура воздуха, °C / Average monthly air temperature, °C | | | | | | |
| Май / May | 11,3 | 15,3 | 11,8 | 12,8 | 14,2 | 14,6 |
| Июнь / June | 16,4 | 17,3 | 20,5 | 20,5 | 21,1 | 21,4 |
| Июль / July | 20,2 | 19,9 | 20,9 | 20,7 | 22,5 | 22,8 |
| Август / August | 19,7 | 16,8 | 23,4 | 23,0 | 24,3 | 24,7 |
| Сентябрь / September | 11,6 | 11,2 | 11,9 | 11,9 | 18,3 | 19,0 |
| Месячная сумма осадков, мм / Monthly precipitation, mm | | | | | | |
| Май / May | 50,1 | 11,0 | 39,0 | 36,0 | 80,3 | 64,0 |
| Июнь / June | 56,1 | 50,0 | 55,4 | 37,0 | 92,5 | 66,6 |
| Июль / July | 33,7 | 116,0 | 54,0 | 39,0 | 7,4 | 17,6 |
| Август / August | 13,1 | 37,0 | 20,0 | 55,0 | 11,2 | 13,6 |
| Сентябрь / September | 48,1 | 39,0 | 118,0 | 95,0 | 53,5 | 62,5 |

Рассчитанные индексы условий среды (I_j) подтверждают вариабельность условий вегетации по экологическим пунктам. Наиболее

благоприятно они складывались в Нальчике ($I_j = +1,51$), худшие условия наблюдались в Челябинске ($I_j = -1,09$) и Омске ($I_j = -0,56$) (рис.).

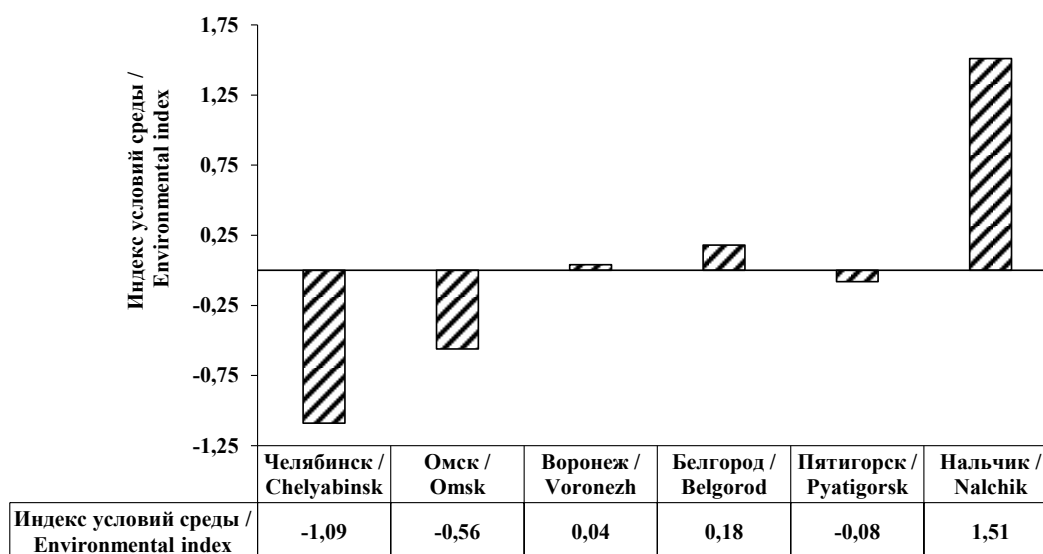


Рис. Индексы условий среды в пунктах испытания гибридов кукурузы /
Fig. Environmental indices at trial sites for corn hybrids

Урожайность является одним из наиболее важных показателей, по которому судят об адаптивности сортов или гибридов, поскольку она отражает и интегрирует действие на растение всех условий возделывания и зависит как от генотипа, так и взаимодействия факторов «генотип – среда». Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта по этому

показателю позволили выявить достоверность влияния изучаемых факторов и их взаимодействия на результирующий признак при уровне значимости 95 % ($F_{расч.} > F_{0.05}$) (табл. 2). Наибольшая дисперсия установлена для фактора «условия» – 27,44 против 2,77 по фактору «гибриды» и 1,23 – по их взаимодействию.

Таблица 2 – Матрица статистических значений результата двухфакторного дисперсионного анализа по признаку «урожайность зерна» гибридов кукурузы /
Table 2 – Matrix of statistical values of the result of two-way analysis of variance on the basis of the trait «grain yield» of corn hybrids

| Источник варьирования / Source of variation | Сумма квадратов (SS) / Sum of squares (SS) | Степени свободы (df) / Degrees of freedom (df) | Средний квадрат (mS) / Mean square (mS) | $F_{расч.} /$ $F_{calculated}$ | $F_{0.05}$ |
|---|---|---|--|-----------------------------------|------------|
| Общее / The general | 263,93 | 215 | - | - | - |
| Фактор А (условия) / Factor A (conditions) | 137,21 | 5 | 27,44 | 157,78* | 2,28 |
| Фактор В (гибриды) / Factor B (hybrids) | 30,49 | 11 | 2,77 | 15,94* | 1,86 |
| Взаимодействие (А x В) / Interaction (A x B) | 67,42 | 55 | 1,23 | 7,05* | 1,43 |
| Остаточное / Residual | 24,70 | 142 | - | - | - |

*Достоверно при $P \leq 0.95$ / *Significant at $P \leq 0.95$.

Разнообразие экологических условий отразилось как на урожайности отдельных гибридов, так и на среднем значении показателя по всем образцам. В среднем по пунктам у 6 из 10 гибридов отмечено существенное превышение гибридов-стандартов, при этом самую высокую урожайность зерна показал гибрид 140/26 (6,50 т/га) (табл. 3). Наибольшая средняя урожайность гибридов (7,41 т/га) получена в Нальчике, что существенно выше урожайности образцов в других пунктах. Минимальная урожайность зерна в опыте (4,01 т/га) отмечена у гибрида 100/26 в Челябинске, максимальная – у образца 140/24 (8,90 т/га) в условиях Нальчика.

В оптимальных условиях (Нальчик-Белгород) средняя урожайность изучаемых гибридов находилась в пределах от 6,14 т/га (100/24) до 7,66 т/га (140/28) при урожайности стандартов 5,51 т/га (Росс 130 МВ) и 5,84 т/га (Нур) (табл. 4). В лимитированных условиях (Челябинск-Омск) гибриды показали урожайность в диапазоне от 4,66 т/га (100/26) до 5,42 т/га (100/28). В жёстких условиях Челябинска выделились гибриды 140-26 (5,84 т/га) и 140-28 (4,97 т/га) (табл. 3). Влажность зерна при сборе

урожа была в пределах 18,7-25,5 %. Пониженная влажность отмечена у гибридов 100/24 (18,7 %), 140/25 (19,0 %), 100/27 (20,5 %), что на 1,8-3,6 % ниже стандартов.

Результаты исследований показали, что для каждого гибрида характерна определённая реакция на условия окружающей среды. Оценка степени реакции изучаемых образцов на улучшение условий по показателю экологической пластичности позволила обнаружить среди них интенсивные формы, урожайность которых повышается с улучшением условий вегетации. В нашем опыте к таким отнесены гибриды – 140/24 ($b_i = 1,82$), 140/28 ($b_i = 1,54$), 100/26 ($b_i = 1,45$), 140/27 ($b_i = 1,34$) и 140/26 ($b_i = 1,31$) (табл. 5). Стандарты Росс 130 МВ ($b_i = 0,22$) и Нур ($b_i = 0,18$), а также экспериментальные гибриды 100/24 ($b_i = 0,62$) и 100-28 ($b_i = 0,62$) слабо отзывались на улучшение условий и квалифицировались как экстенсивные. Несмотря на это они представляют ценность, так как в наиболее неблагоприятных условиях Челябинска показатели их продуктивности снижались меньше, чем у образцов интенсивного типа.

Таблица 3 – Урожайность зерна гибридов кукурузы по пунктам испытаний, т/га (2022 г.) /
Table 3 – Grain yield of corn hybrids at trial sites, t/ha (2022)

| Гибрид (фактор В) / Hybrid (factor B) | Пункты испытаний (фактор А) / Trial sites (factor A) | | | | | | Среднее ($\Sigma x_i/v$) по фактору В / The average ($\Sigma x_i/v$) by factor B |
|--|--|----------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|--|
| | Челябинск / Chelyabinsk | Омск / Omsk | Воро- неж / Voronezh | Белгород / Belgorod | Пяти- горск / Pyatigorsk | Нальчик / Nalchik | |
| Росс 130 МВ, ст. / Ross 130 MW, st. | 5,59 | 4,48 | 6,06 | 5,40 | 4,85 | 5,61 | 5,33 |
| Нур, ст. / Noor, st. | 5,04 | 5,69 | 5,00 | 5,97 | 4,67 | 5,71 | 5,35 |
| 100/24 | 4,50 | 5,98 | 4,75 | 5,77 | 5,52 | 6,50 | 5,50 |
| 100/25 | 4,24 | 5,76 | 5,02 | 6,30 | 5,25 | 7,05 | 5,60 |
| 100/26 | 4,01 | 5,30 | 6,34 | 6,83 | 5,91 | 7,85 | 6,04 |
| 100/27 | 4,91 | 5,70 | 6,10 | 5,87 | 5,70 | 7,31 | 5,93 |
| 100/28 | 4,89 | 5,94 | 6,45 | 5,87 | 6,30 | 6,75 | 6,03 |
| 140/24 | 4,12 | 5,28 | 6,59 | 6,40 | 5,62 | 8,90 | 6,15 |
| 140/25 | 4,96 | 5,02 | 5,38 | 5,70 | 6,11 | 7,60 | 5,80 |
| 140/26 | 5,84 | 4,91 | 6,35 | 6,40 | 6,74 | 8,76 | 6,50 |
| 140/27 | 4,69 | 4,84 | 6,29 | 5,97 | 6,90 | 8,06 | 6,13 |
| 140/28 | 4,97 | 5,21 | 6,89 | 6,53 | 6,29 | 8,79 | 6,45 |
| Среднее ($\Sigma x_j/v$) по фактору А / The average ($\Sigma x_j/v$) by factor A | 4,81 | 5,34 | 5,94 | 6,08 | 5,82 | 7,41 | - |

HCP₀₅ / LSD₀₅: частных средних / private average – 0.67; по фактору А / by factor A – 0.19;
по фактору В / by factor B – 0.27.

*Таблица 4 – Урожайность зерна гибридов кукурузы в среднем по лимитированным и оптимальным
пунктам испытаний и его уборочная влажность (2022 г.) /*

Table 4 – Grain yield of corn hybrids on average at limited and optimal sites and grain moisture at harvest (2022)

| Гибрид / Hybrid | Средняя урожайность зерна, т/га / Average grain yield, t/ha | | Средняя по пунктам уборочная влажность зерна, % / Mean grain moisture at harvest, % |
|---|--|---|---|
| | по оптимальным пунктам* / on optimal sites* | по лимитированным пунктам** / for limited sites** | |
| Росс 130 МВ, ст. / Ross 130 MW, st. | 5,51 | 5,04 | 22,9 |
| Нур, ст. / Noor, st. | 5,84 | 5,37 | 22,9 |
| 100/24 | 6,14 | 5,24 | 18,7 |
| 100/25 | 6,59 | 5,00 | 21,3 |
| 100/26 | 7,34 | 4,66 | 22,7 |
| 100/27 | 6,59 | 5,31 | 20,5 |
| 100/28 | 6,31 | 5,42 | 22,3 |
| 140/24 | 7,65 | 4,70 | 24,7 |
| 140/25 | 6,65 | 4,99 | 19,0 |
| 140/26 | 7,58 | 5,38 | 25,5 |
| 140/27 | 7,02 | 4,77 | 23,2 |
| 140/28 | 7,66 | 5,09 | 24,4 |
| Среднее ($\Sigma x_j/v$) / The average ($\Sigma x_j/v$) | 6,74 | 5,08 | 22,3 |

* Среднее по пунктам Нальчик-Белгород / * Average for sites Nalchik-Belgorod.

** Среднее по пунктам Челябинск-Омск / ** Average for sites Chelyabinsk-Omsk.

Таблица 5 – Характеристика гибридов кукурузы по параметрам адаптивности /
Table 5 – Characteristic of corn hybrids based on adaptability

| Гибрид / Hybrid | Коэффициент / Coefficient | |
|--|--|---|
| | пластичности (b_i) / plasticity (b_i) | стабильности (σ_d^2) / stability (σ_d^2) |
| Росс 130 МВ, ст. / Ross 130 MW, st. | 0,22 | 0,28 |
| Нур, ст. / Noor, st. | 0,18 | 0,38 |
| 100/24 | 0,62 | 0,35 |
| 100/25 | 0,97 | 0,33 |
| 100/26 | 1,45 | 0,17 |
| 100/27 | 0,87 | 0,04 |
| 100/28 | 0,62 | 0,17 |
| 140/24 | 1,82 | 0,08 |
| 140/25 | 1,05 | 0,16 |
| 140/26 | 1,31 | 0,42 |
| 140/27 | 1,34 | 0,31 |
| 140/28 | 1,54 | 0,09 |

По результатам расчётов, отклонения от линии регрессии минимальные значения показателя установлены у образцов 100/27 ($\sigma_d^2 = 0,04$), 140/24 ($\sigma_d^2 = 0,08$), 140/28 ($\sigma_d^2 = 0,09$), 140/25 ($\sigma_d^2 = 0,16$), 100/26 ($\sigma_d^2 = 0,17$) и 100/28 ($\sigma_d^2 = 0,17$), что позволяет судить об их высокой стабильности, у гибридов 140/26 ($\sigma_d^2 = 0,42$), 100/24 ($\sigma_d^2 = 0,35$), 100/25 ($\sigma_d^2 = 0,33$) и 140/27 ($\sigma_d^2 = 0,31$) стабильность выявлена ниже.

Как отмечалось выше, применение методики оценки генотипов по селекционным индексам предоставляет новые возможности, объединяя в одном показателе значения нескольких признаков. При использовании индекса «селекционная ценность сорта» (C_u) предпочтение получают гибриды, оптимально сочетающие высокую потенциальную урожайность и стабильность её проявления в различных экологических условиях. В результате по этому показателю наиболее ценными выделились гибриды 100/28 ($C_u = 31,27$), 140/26 ($C_u = 30,00$) и 100/27 ($C_u = 28,48$), занявшие первые три места в рейтинге (табл. 6).

Таблица 6 – Ранжирование гибридов кукурузы по селекционным индексам /
Table 6 – Ranking of corn hybrids by selection indexes

| Гибрид / Hybrid | Селекционная ценность сорта (C_u) / Breeding value of cultivar (S_{vc}) | | Селекционный индекс (C_u) / Selection index (S_i) | | Селекционный индекс ценности сорта (C_{uic}) / Selection index of cultivar value (S_{vic}) | |
|--|---|-------------|---|-------------|--|-------------|
| | C_u / S_{vc} | ранг / rank | C_u / S_i | ранг / rank | C_{uic} / S_{vic} | ранг / rank |
| Росс 130 МВ, ст. / Ross 130 MW, st. | 25,85 | 6 | 0,23 | 11-12 | 5,95 | 11 |
| Нур, ст. / Noor, st. | 25,47 | 8 | 0,23 | 11-12 | 5,86 | 12 |
| 100/24 | 26,32 | 5 | 0,29 | 2-3 | 7,63 | 4 |
| 100/25 | 23,52 | 10 | 0,26 | 6-8 | 6,12 | 9 |
| 100/26 | 22,98 | 12 | 0,27 | 4-5 | 6,20 | 8 |
| 100/27 | 28,48 | 3 | 0,29 | 2-3 | 8,26 | 2 |
| 100/28 | 31,27 | 1 | 0,27 | 4-5 | 8,44 | 1 |
| 140/24 | 23,07 | 11 | 0,25 | 9-10 | 5,77 | 10 |
| 140/25 | 25,23 | 9 | 0,30 | 1 | 7,82 | 3 |
| 140/26 | 30,00 | 2 | 0,25 | 9-10 | 7,50 | 5 |
| 140/27 | 25,55 | 7 | 0,26 | 6-8 | 6,64 | 7 |
| 140/28 | 27,46 | 4 | 0,26 | 6-8 | 7,14 | 6 |

Создание гибридов кукурузы для конкретного региона предусматривает синтез генотипов, оптимально сочетающих высокую урожайность с пониженной уборочной влажностью зерна. Определение селекционного индекса (C_u) позволяет выделить более скороспелые гибриды с ускоренной влагоотдачей

зерна при равной или близкой урожайности с более позднеспелыми образцами. Анализ показал, что лидирующие позиции заняли гибриды 140/25 ($C_u = 0,30$), 100/27 ($C_u = 0,29$) и 100/24 ($C_u = 0,29$). Причём, гибриды 100/28 и 100/26, занявшие по селекционной ценности (C_u) 1 и 2 места, поменяли свои позиции в ранге

по селекционному индексу ($C_{\text{и}}$) на 4-5 и 9-10 соответственно, а занимавший 3 место гибрид 100/27 практически не изменил своё положение в новом рейтинге.

Отбирать лучшие образцы, учитывая одновременно уровень проявления трёх важных признаков – урожайности зерна, уборочной влажности и стабильности проявления урожайности в изменяющихся условиях среды позволяет использование селекционного индекса ценности сорта ($C_{\text{иц}}$). По итоговой оценке, лучшие результаты показали гибриды 100/28 ($C_{\text{иц}} = 8,44$) и 100/27 ($C_{\text{иц}} = 8,26$) с близкими значениями индекса.

Сравнение рейтингов по селекционной ценности сорта ($C_{\text{и}}$) и селекционному индексу ценности сорта ($C_{\text{иц}}$) показало, что гибрид 100/28 сохранил лидирующие позиции в обоих рейтингах, а гибрид 100/27, занимавший 3 место по селекционной ценности сорта ($C_{\text{и}}$), в новом рейтинге переместился на 2 место, так как имел лучшие результаты по уборочной влажности зерна. Стоит также отметить, что пониженная уборочная влажность зерна позволила гибриду 140/25 занять 3 место по селекционному индексу ценности сорта ($C_{\text{иц}}$), тогда как в ранге по селекционной ценности ($C_{\text{и}}$) он находился только на 9 месте.

Заключение. По результатам экологического сортоиспытания выявлены наиболее ценные, интенсивные гибриды 140/24 ($b_i = 1,82$,

$\sigma_d^2 = 0,08$), 140/28 ($b_i = 1,54$, $\sigma_d^2 = 0,09$) и 100/26 ($b_i = 1,45$, $\sigma_d^2 = 0,17$). Они имеют высокую экологическую пластичность и стабильность, а максимум отдачи могут обеспечить в благоприятных климатических условиях Северного Кавказа на высоком агрофоне при условии достаточного влагообеспечения.

Подтверждена эффективность применения методики оценки гибридов кукурузы по селекционным индексам для выявления регионально ориентированных генотипов. По селекционному индексу ценности сорта выделены перспективные гибриды 100/28 ($C_{\text{иц}} = 8,44$), 100/27 ($C_{\text{иц}} = 8,26$), сочетающие экологическую стабильность, повышенную урожайность и пониженную уборочную влажность зерна. Эти гибриды пригодны для выращивания в условиях ограниченного периода вегетации Уральского и Западно-Сибирского регионов. Гибриды 140-26 и 140-28, выделившиеся по урожайности в наиболее лимитированных условиях Челябинска, не могут быть рекомендованы для культивирования в северных регионах. Из-за более продолжительного периода вегетации (ФАО 150) они не обеспечивают минимальную влажность зерна.

Применение методики оценки генотипов по селекционному индексу ценности сорта ($C_{\text{иц}}$) возможно, помимо кукурузы, и для других сельскохозяйственных культур, показатель влажности зерна при сборе урожая для которых является актуальным.

Список литературы

1. Trudy F. C. Mackay A-maize-ing diversity. Science. 2009;325(5941):688-689. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1178420>
2. Сотченко В. С. Роль кукурузы в повышении продовольственной безопасности страны. Вестник Российской академии наук. 2015;85(1):12-14. DOI: <https://doi.org/10.7868/S086958731501017X> EDN: TELWMV
3. Сотченко В. С., Горбачёва А. Г., Панфилов А. Э., Ветошкина И. А., Замятин А. Д. Зерновая продуктивность кукурузы как функция географических пунктов, сроков посева и длительности хранения семян. АПК России. 2016;23(3):687-694. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27192859> EDN: WXPBFX
4. Heng Z., Yuanyuan L., Jian-Kang Z. Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. Nature Plants. 2018;4(12):989-996. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0309-4>
5. Dai A. G. Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change. 2013;3:52-58. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1633>
6. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск, 1997. 372 с.
7. Troyer A. F. Adaptedness and Heterosis in Corn and Mule Hybrids. Crop Science. 2006;46(2):528-543. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0065>
8. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617-626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus> EDN: WZJQEN
9. Орлянский Н. А., Зубко Д. Г., Орлянская Н. А. Селекция кукурузы на раннеспелость – достижения и перспективы. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013;(2(37)):107-111. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20206457> EDN: RAEQCF
10. Супрунов А. И., Перевязка А. П., Перевязка Д. С., Терещенко А. А. Селекция раннеспелых гибридов кукурузы с быстрой отдачей влаги зерном при созревании. Рисоводство. 2019;4(45):19-24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41559966> EDN: PJTTTT
11. Сотченко В. С., Горбачёва А. Г., Панфилов А. Э., Казакова Н. И., Ветошкина И. А. Норма и стабильность реакции раннеспелых гибридов кукурузы на условия вегетации. Кормопроизводство. 2020;(4):39-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42835588> EDN: PCSQQL

12. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Экологическое испытание новых гибридов кукурузы в условиях различной влагообеспеченности. *Зерновое хозяйство России*. 2018;(4):47-51.
DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-47-51> EDN: OXHODN
13. Зайцев С. А., Жужукин В. И., Гудова Л. А., Волков Д. П., Гусева С. А., Носко О. С. Экологический подход в адаптированной системе селекции среднепоздних гибридов кукурузы (ФАО 300-399) в Нижнем Поволжье. *Аграрный научный журнал*. 2021;(3):19-24. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i3pp19-24> EDN: LITLEP
14. Kusmiec A., de Leon N., Schnable P. S. Harnessing phenotypic plasticity to improve maize yields. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1377. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01377>
15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
16. Елисеев С. Л., Елисеев А. С. Вызревание зерна кукурузы в северных районах кукурузосеяния. *Пермский аграрный вестник*. 2015;(1(9)):11-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23172588> EDN: TNCFTV
17. Сотченко В. С., Панфилов А. Э., Горбачёва А. Г., Казакова Н. И., Ветошкина И. А. Скорость потери влаги зерном кукурузы в период созревания в зависимости от генотипа и условий среды. *Сельскохозяйственная биология*. 2021;56(1):54-65. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.54rus> EDN: ISXXGM
18. Орлянский Н. А., Орлянская Н. А. Оценка результатов экологического сортоиспытания гибридов кукурузы с использованием селекционных индексов. *Кукуруза и сорго*. 2016;(2):3-7.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26283455> EDN: WDEEND
19. Панфилов А. Э., Зезин Н. Н., Овчинников П. Ю. Биологическая продуктивность ультрананних гибридов кукурузы в различных почвенно-климатических зонах Уральского региона. *Аграрный вестник Урала*. 2022;(3(218)):35-47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48647889> EDN: YEKOFT
20. Логинова А. М., Губин С. В., Гетц Г. В. Изучение гибридов кукурузы разных групп спелости в условиях южной лесостепи Омской области. *АПК России*. 2021;28(3):326-331.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46642927> EDN: WUZYIYQ
21. Орлянская Н. А., Чеботарёв Д. С. Адаптивный потенциал исходного материала для селекции ранне-спелых гибридов кукурузы в условиях Центрально-Чернозёмного региона. *Сахар*. 2022;(12):20-24.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-12-20-24> EDN: LXOFXP

References

1. Trudy F. C. Mackay A-maize-ing diversity. *Science*. 2009;325(5941):688-689.
DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1178420>
2. Sotchenko V. S. The role of corn in improving the food security of the country. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* = Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015;85(1):12-14. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.7868/S086958731501017X>
3. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Vetoshkina I. A., Zamyatin A. D. Grain productivity of maize hybrids as a function of geographical points, sowing periods and seed storage duration. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2016;23(3):687-694. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27192859>
4. Heng Z., Yuanyuan L., Jian-Kang Z. Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. *Nature Plants*. 2018;4(12):989-996. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0309-4>
5. Dai A. G. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*. 2013;3:52-58. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1633>
6. Kilchevskiy A. V., Khotyleva L. V. Ecological plant breeding. Minsk, 1997. 372 p.
7. Troyer A. F. Adaptedness and Heterosis in Corn and Mule Hybrids. *Crop Science*. 2006;46(2):528-543.
DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0065>
8. 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>
9. Orlyanskiy N. A., Zubko D. G., Orlyanskaya N. A. Achievements and prospects of corn selective breeding with a view to earliness of ripening. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2013;(2(37)):107-111. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20206457>
10. Suprunov A. I., Perevyazka A. P., Perevyazka D. S., Tereshchenko A. A. Selection of early maturing maize hybrids with quick return of moisture by grain at maturation. *Risovodstvo* = Rice Growing. 2019;4(45):19-24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41559966>
11. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Kazakova N. I., Vetoshkina I. A. Reaction norm and stability of short-season maize hybrids as affected by environment. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2020;(4):39-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42835588>
12. Krivosheev G. Y., Ignatiev A. S. Ecological trials of new maize hybrids in the conditions of various moisture supply. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2018;(4):47-51. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-47-51>

13. Zaytsev S. A., Zhuzhukin V. I., Gudova L. A., Volkov D. P., Guseva S. A., Nosko O. S. Ecological approach in the adapted breeding system of mid-late maize hybrids (FAO 300-399) in the lower Volga region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(3):19-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i3pp19-24>
14. Kusmec A., de Leon N., Schnable P. S. Harnessing phenotypic plasticity to improve maize yields. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1377. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01377>
15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
16. Eliseev S. L., Eliseev A. S. Ripening maize grain in northern zones of maize seeding. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2015;(1(9)):11-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23172588>
17. Sotchenko V. S., Panfilov A. E., Gorbacheva A. G., Kazakova N. I., Vetoshkina I. A. Genotype and environment influence on the rate of grain moisture loss in corn during ripening period. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2021;56(1):54-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.1.54rus>
18. Orlyanskiy N. A., Orlyanskaya N. A. Evaluating the results of ecological testing of maize hybrids using selection indexes. *Kukuruz i sorgo*. 2016;(2):3-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26283455>
19. Panfilov A. E., Zezin N. N., Ovchinnikov P. Yu. Biological productivity of ultra-early corn hybrids in various soil and climatic zones of the Ural region. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2022;(3(218)):35-47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48647889>
20. Loginova A. M., Gubin S. V., Getts G. V. Studying the corn hybrids of different ripeness groups in the southern forest-steppe of Omsk region. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2021;28(3):326-331. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46642927>
21. Orlyanskaya N. A., Chebotarev D. S. Adaptive potential of the source material for the breeding of early maturing hybrids of corn in the conditions of the Central Black Earth region. *Sakhar* = Sugar. 2022;(12):20-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-12-20-24>

Сведения об авторах

✉ **Орлянская Наталья Алексеевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» (Воронежский филиал), ул. Чайнова, 13, п. Опытной станции ВНИИК, Хохольский р-н, Воронежская обл., Российская Федерация, 396835, e-mail: vf-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9456-6640>

Орлянский Николай Алексеевич, доктор с.-х. наук, и.о. директора филиала, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» (Воронежский филиал), ул. Чайнова, 13, п. Опытной станции ВНИИК, Хохольский р-н, Воронежская обл., Российская Федерация, 396835, e-mail: vf-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2703-9816>

Чеботарёв Дмитрий Сергеевич, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» (Воронежский филиал), ул. Чайнова, 13, п. Опытной станции ВНИИК, Хохольский р-н, Воронежская обл., Российская Федерация, 396835, e-mail: vf-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-2783>

Information about the authors

✉ **Natalya A. Orlyanskaya**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Breeding and Grain Production of Maize, All-Russian Research Institute of Maize (affiliated branch in Voronezh), Chayanov str., 13, Experimental Station of ARRIM, Khokholsky District, Voronezh region, Russian Federation, 396835, e-mail: vf-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9456-6640>

Nikolay A. Orlyansky, DSc in Agricultural Science, Acting Director of the Branch, All-Russian Research Institute of Maize (affiliated branch in Voronezh), Chayanov str., 13, Experimental Station of ARRIM, Khokholsky District, Voronezh region, Russian Federation, 396835, e-mail: vf-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2703-9816>

Dmitry S. Chebotarev, junior researcher, the Department of Breeding and Grain Production of Maize, All-Russian Research Institute of Maize (affiliated branch in Voronezh), Chayanov str., 13, Experimental Station of ARRIM, Khokholsky District, Voronezh region, Russian Federation, 396835, e-mail: vf-nauka@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-2783>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Динамика медовой продуктивности насаждений *Robinia pseudoacacia* L. степного Придонья

© 2023. И. Д. Самсонова^{1,2}✉, В. Н. Саттаров², Р. А. Ильясов³, А. А. Плахова⁴

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа, Российская Федерация,

³ФГБУН Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, г. Москва, Российская Федерация,

⁴ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирск, Российская Федерация

Земли лесного фонда на территории степного Придонья отличаются значительным распространением по площади главного медоносного растения робинии псевдоакация (*R. Pseudoacaci* L.), которая обладает высоким биоресурсным потенциалом для медосбора Ростовской области. В задачи исследований входило выявление особенностей медовой продуктивности насаждений *R. pseudoacacia* в зависимости от динамики таксационных показателей и лесорастительных условий в степном Придонье. С целью изучения изменений медовой продуктивности робиниевых насаждений проведены учетные работы в чистых и смешанных древостоях в каждой группе возраста. Выявлена связь изучаемого показателя робиниевого древостоя с таксационными характеристиками и условиями произрастания. Наибольшей медовой продуктивностью (347,5 кг/га) отличаются чистые робиниевые древостои в лесорастительных условиях дубравы свежей снытьево-осоковой, у которых в 50-летнем возрасте наблюдается интенсивное цветение деревьев (80,060 тыс. шт.) и активное выделение сахара в нектаре (2,48 мг). По нашим наблюдениям, густота древостоя с изменением возраста уменьшается, а количество цветков на деревьях возрастает. Результаты исследований показали, что в возрасте 40 лет медовая продуктивность гектара робиниевых насаждений достигает своего максимума (586,3 кг/га). Выведенные нами уравнения зависимости медовой продуктивности от таксационных характеристик насаждений *R. pseudoacacia* и полученные высокие коэффициенты корреляции указывают на тесную связь изучаемых показателей. Полученные данные в дальнейшем позволят более точно рассчитывать медовую продуктивность робиниевых древостоев с учетом динамики их таксационных показателей.

Ключевые слова: медоносные растения, лесной фонд, лесные полосы, таксационные показатели, лесорастительные условия

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Самсонова И. Д., Саттаров В. Н., Ильясов Р. А., Плахова А. А. Динамика медовой продуктивности насаждений *Robinia pseudoacacia* L. степного Придонья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):592-604. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.592-604>

Поступила: 17.02.2023

Принята к публикации: 20.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Dynamics of honey productivity of *Robinia pseudoacacia* L. stands of the steppe Don region

© 2023. Irina D. Samsonova^{1,2}✉, Vener N. Sattarov², Rustem A. Ilyasov³, Alevtina A. Plahova⁴

¹Saint-Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg, Russian Federation,

²Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russian Federation,

³Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation,

⁴Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation

The lands of the forest fund on the territory of the steppe Don region are distinguished by a significant spread over the area of the main melliferous plant *Robinia pseudoacacia* (*R. Pseudoacaci* L.), which has a high bioresource potential for the honey collection of the Rostov region. The objectives of the research included identifying the features of the honey productivity of *R. pseudoacacia* plantations, depending on the dynamics of taxation indicators and forest conditions in the steppe Don region. In order to study changes in the honey productivity of *Robinia* plantations, accounting work was carried out in pure and mixed stands in each age group. The relationship of the studied indicator of *Robinia* forest stand with taxation characteristics and growing conditions was revealed. The highest honey productivity (347.5 kg/ha) is observed in pure *Robinia* forest stands in the forest

growing conditions of fresh glague - sedge oak groves, where at the age of 50 there is an intensive flowering of trees (80.060 thousand pieces) and active release of sugar in nectar (2.48 mg). According to the observations, the density of the forest stand decreases with age, and the number of flowers on the trees increases. The results of the research showed that at the age of 40 years, the honey productivity of a hectare of Robin plantations reaches its maximum (586.3 kg/ha). The equations for the dependence of honey productivity on the taxation characteristics of *R. pseudoacacia* plantations and the obtained high correlation coefficients indicate a close relationship between the studied indicators. The data obtained will make it possible in the future to calculate the honey productivity of Robinia stands more accurately, taking into account the dynamics of their taxation indicators.

Keywords: melliferous plants, forest fund, forest belts, taxation indicators, forest growth conditions

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within initiative theme.

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

Conflict of Interest: the authors declared no conflicts of interest.

For citation: Samsonova I. D., Sattarov V. N., Ilyasov R. A., Plahova A. A. Dynamics of honey productivity of *Robinia pseudoacacia* L. plants of the steppe Don region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):592-604. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.592-604>

Received: 17.02.2023

Accepted for publication: 20.07.2023

Published online: 30.08.2023

Лесное хозяйство и пчеловодство имеют давнюю общую историю [1]. Хотя в зарубежной литературе отмечается, что на глобальном уровне систематические данные и научные исследования о взаимодействии между лесным хозяйством и пчеловодством довольно скудны [2].

Известно, что на биоресурсный потенциал плодовых и ягодных растений важное влияние оказывают пчелы. При опылении энтомофильных растений создаются благоприятные условия не только для увеличения продуктивности лесных видов, но и сохраняется устойчивость естественных популяций. [1, 3]. По наблюдениям Д. Срдиц (D. Srdić), польза от симбиоза между пчелами и растениями, культурными и дикорастущими, в 6-10 раз выше, чем от получения продуктов пчеловодства [4]. Отмечая, что польза от опыления во много раз больше, чем от получения меда и других продуктов пчеловодства (воск, маточное молочко, пыльца, прополис, пчелиный яд), ученые предлагают строить новую систему пчеловодства, основной задачей которой станет опыление, а производство меда и других пчелиных продуктов будет только побочной деятельностью [5].

Как медоносная культура *Robinia pseudoacacia* L. (робиния ложноакациевая или робиния лжеакация, или робиния псевдоакация, или робиния обыкновенная) получила пристальное внимание для изучения в Венгрии, Югославии и Румынии. По мнению С. Керестеш (S. Kereszteshi) [6] и Д. Рауш с соавт. (D. Rauš et. al.) [7], в Венгрии и Югославии для улучшения качества лесов и получения продуктивных насаждений *R. pseudoacacia* L. необходимо вводить ее селекционные сорта.

На юге европейской части России территория Ростовской области занимает значительную площадь степного Придонья. В характерных

для этой местности природно-климатических условиях складывается робиниево-подсолнечниковый тип сбора меда, который отличается значительным биоресурсным потенциалом лесов и сельхозугодий для медосбора [8].

R. pseudoacacia L. на территории региона в майский период является ведущим медоносом для получения высокого медосбора. В чистых древостоях робинии псевдоакации медовая продуктивность колеблется от 50 до 1500 кг/га меда [9]. Такая вариабельность показателей продуктивности угодий зависит от условий ее произрастания [10, 11].

Для уточнения биоресурсного потенциала робиниевых древостоев и получения достоверных сведений для планирования медосбора необходимо провести комплексный анализ чистых и смешанных разновозрастных насаждений *R. pseudoacacia* L.

Цель исследований – выявление особенностей медовой продуктивности насаждений *R. pseudoacacia* L. в связи с динамикой таксационных показателей и лесорастительными условиями в степном Придонье.

Научная новизна – комплексное изучение насаждений *R. pseudoacacia* L. в различных лесорастительных условиях в качестве ценных угодий для медоносных пчел.

Материал и методы. Объектами исследования служили искусственные древостои, созданные на землях лесного фонда на территории Ростовской области. Климатические условия Ростовской области отличаются продолжительным солнечным сиянием (2000-2200 час. за год), безморозным длительным периодом (от 160-170 дней на севере, до 180-190 дней на юге), быстрым нарастанием тепла в весенний период, что связано с расположением области на юго-востоке европейской части Российской

Федерации. Отмеченная изменчивость в климатических факторах благоприятна для ведения пчеловодства [12].

С целью проведения исследований насаждений *R. pseudoacacia* L. нами выполнены учетные работы в каждом типе леса и группе возраста. Группу возраста робинии лжеакакии определяли согласно данным В. М. Ивонина и В. В. Танюкевича¹: молодняки – до 20 лет; средневозрастные насаждения – от 21 до 50 лет; приспевающие – от 51 до 60 лет; спелые и перестойные – от 61 до 80 лет. Продолжительность класса возраста приняли 10 лет. Возраст спелости у робинии лжеакакии составил 61-70 лет. Возраст и тип леса определяли по таксационным описаниям. Для каждой пробы в камеральных условиях находили средние таксационные показатели древостоя, используя традиционные методы обработки полученных данных. Для описания типа леса и лесорастительных условий (ТЛУ) использовали сокращения: ДОС Д₁ – дубрава сухая осоковая; ДОЗ Д₂ – дубрава свежая осоко-злаковая; ДОЗЛ Д₀ – дубрава очень сухая осоково-злаковая; ДСО Д₂ – дубрава свежая снытьево-осоковая; ВР Д₂Н₁ – вязовник разнотравно-крапиво-ежевиковый; СЗР В₁ – суборь сухая, злаково-раkitниковая; СЗЛ С₁ – судубра сухая злаковая; ДБСБ Е₁ – дубняки байрачные на световых берегах.

Для определения средней цветонности (количество цветков на дереве) в конце периода

цветения *R. pseudoacacia* L. подбирали модельные деревья и далее рассчитывали на один гектар насаждения [13].

Метод смывания и рефрактометр ИРФ-22 использовали для определения количества сахара в нектаре [13]. Полученное процентное содержание сахара в нектаре переводили в миллиграммы по формуле Л. В. Сухановой [14].

Сахаропродуктивность *R. pseudoacacia* L. конкретного вида рассчитывали по формуле П. И. Нестерова [13]. Медовую продуктивность изучаемого медоносного растения и угодий для медосбора вычисляли по формуле, предложенной учеными Новочеркасской государственной мелиоративной академии [8].

Статистический анализ выполнен в программе Statistica 8.0: анализ главных компонент, множественный регрессионный и дисперсионный анализ AMOVA, множественный корреляционный анализ.

Результаты и их обсуждение. Для пчеловодства изучаемого региона насаждения *R. pseudoacacia* L. на землях лесного фонда занимают большие площади (до 18,609 тыс. га) и отличаются значительным биоресурсным потенциалом, который составляет 7111 т среди распространенных медоносных растений [10].

На землях лесного фонда Ростовской области площади робиниевых древостоев увеличиваются с 1980 г. по настоящее время, что связано с активной посадкой лесных культур для создания защитных средообразующих лесонасаждений (рис. 1).

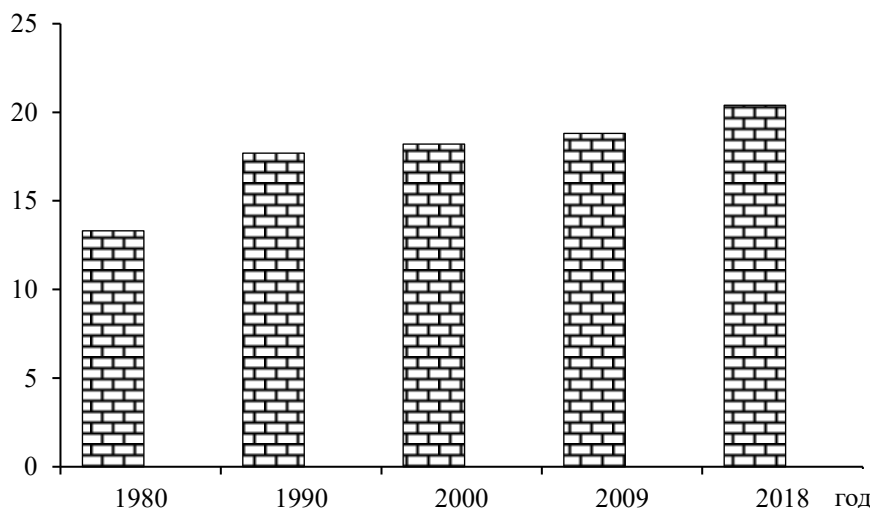


Рис. 1. Площадь насаждений робинии псевдоакакии на территории Ростовской области, тыс. га /
Fig. 1. Area of plantations of pseudoacacia robinia in the Rostov region, thousand hectares

¹Танюкевич В. В., Журавлёва А. В. Мелиоративная роль и продуктивность полезащитных сосновых лесных полос Среднего Дона: монография. Новочеркасск, 2017. 118 с.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yhkhnf>

Защитные лесные полосы на исследуемой территории выполняют функцию биоразнообразия агролесоландшафтов, изменения микроклимата, а также играют существенную роль в получении продуктивных медосборов. На практике возможно получить весомый сбор меда с лесных полос, в структуре которых преобладает *R. pseudoacacia* L. – 25926 т, что

составляет 98,3 % от общего медового запаса агролесоландшафтов [10].

В результате проведенных исследований получены данные (табл. 1), которые указывают, что лучшими таксационными характеристиками выделяются древостои СЗР В₁ по сравнению с ДОО Д₁ в возрасте молодняка. Аналогичная зависимость отмечена между ДОО Д₂ и ДОО Д₁ в средневозрастных древостоях.

Таблица 1 – Таксационные характеристики чистых насаждений *R. pseudoacacia* L. в различных условиях произрастания /

Table 1 – Taxational characteristics of pure stands of *R. pseudoacacia* L. in different growing conditions

| № пробной площади / Test Area No. | Тип леса / Forest type | Тип лесорас- тительных условий / Type of forest-growing conditions | Класс бонитета / Quality class | Полнота / Completeness | Возраст, лет / Age, years | Средняя высота, м / Average height, m | Средний диаметр, см / Average diameter, cm |
|---|--|---|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------|--|--|
| Сальское лесничество / Salsky forestry | | | | | | | |
| 49 | Дубрава осоковая (ДОО) / Oak grove sedge | Д ₁ | III | 0,8 | 26 | 13,2 | 14,0 |
| 73 | | Д ₁ | I | 0,7 | 21 | 9,4 | 8,0 |
| 81 | | Д ₁ | III | 0,4 | 8 | 3,1 | 2,0 |
| 80 | | Д ₁ | II | 0,8 | 50 | 16,5 | 20,0 |
| 72 | Дубрава осоко-злаковая (ДОЗ) / Oak grove sedge and cereal | Д ₂ | III | 0,6 | 26 | 7,1 | 6,3 |
| 105 | Дубрава осоково-злаковая (ДООЗЛ) / Oak grove sedge and cereal | Д ₀ | IV | 0,5 | 21 | 4,3 | 4,5 |
| 39 | Дубрава снытьево-осоковая (ДООС) / Oak grove glague-sedge | Д ₂ | I | 0,7 | 50 | 19,2 | 26,6 |
| Мартыновское лесничество / Martynovsky forestry | | | | | | | |
| 48 | Дубрава снытьево-осоковая (ДООС) / Oak grove glague-sedge | Д ₂ | IA | 1,0 | 13 | 8,5 | 8,1 |
| 64 | Дубрава осоково-злаковая (ДООЗЛ) / Oak grove sedge and cereal | Д ₀ | IV | 0,6 | 27 | 7,0 | 10,1 |
| Багаевское участковое лесничество / Bagaevsky district forestry | | | | | | | |
| 74 | Вязовник разнотравно крапиво- ежевиковый (ВР) / Elm forest heterogeneous-nettle-blackberry | Д ₂ Н ₁ | III | 0,7 | 50 | 14,0 | 16,0 |
| Кашарское лесничество / Kashar forestry | | | | | | | |
| 79 | Суборь злаково-рактитниковая (СЗР) / Subor cereal-broom | В ₁ | I | 0,7 | 8 | 4,3 | 4,4 |
| 25 | Судубра злаковая (СЗЛ) / Sudubra cereal | С ₁ | II | 0,9 | 13 | 7,6 | 8,0 |
| 56 | Дубняки байрачные на световых берегах (ДБСБ) / Small oak ravine forests on light banks | Е ₁ | III | 0,7 | 27 | 8,9 | 12,6 |
| Шахтинское лесничество / Shakhty forestry | | | | | | | |
| 101 | Дубрава осоковая (ДОО) / Oak grove sedge | Д ₁ | III | 0,7 | 38 | 11,0 | 14,0 |
| 89 | Дубрава осоко-злаковая (ДООЗ) / Oak grove sedge and cereal | Д ₀ | III | 0,4 | | 10,1 | 12,6 |
| 71 | Дубрава снытьево-осоковая (ДООС) / Oak grove glague-sedge | Д ₂ | I | 0,7 | | 15,4 | 16,8 |

Таким образом, в благоприятных для роста и развития лесорастительных условиях робинии псевдоакации (свежие, хорошо дренированные, плодородные почвы) исследуемый медонос отличается хорошими морфологическими признаками, интенсивным ростом и долговечностью. Доказано, что *R. pseudoacacia* L. образует на весьма бедных, сухих и мало-мощных, тяжелого механического состава почвах малопродуктивные и неустойчивые древостой.

Для проведения сравнительного анализа нами были обработаны полученные данные в чистых древостоях робинии псевдоакации разного возраста и в различных условиях произрастания по количеству сахара в нектаре одного цветка, густоте древостоя, интенсивности цветения одного дерева с последующим определением медовой продуктивности. Результаты показали, что высоким биоресурсным

потенциалом отличаются древостой *R. pseudoacacia* L., произрастающие в условиях молодняка и приспевающего (50-летнего) ДСО Д₂. Медовая продуктивность в высокопродуктивных насаждениях составила соответственно 234,1 и 347,5 кг/га, в ДСО Д₁ среднего возраста продуктивность значительно выше – 306,3 кг/га, чем в лесорастительных условиях ДОЗЛ Д₀ – 232,9 кг/га (табл. 2).

Именно в выделенных лесорастительных условиях *R. pseudoacacia* L. отличается лучшими таксационными показателями, а также максимальным выделением сахара в нектаре, обильным цветением и высокой продуктивностью меда робиниевых насаждений.

Уровень варьирования основных показателей робиниевых насаждений (возраст, тип леса, количество сахаров, цветков и деревьев, медовая продуктивность) представлен на рисунке 2.

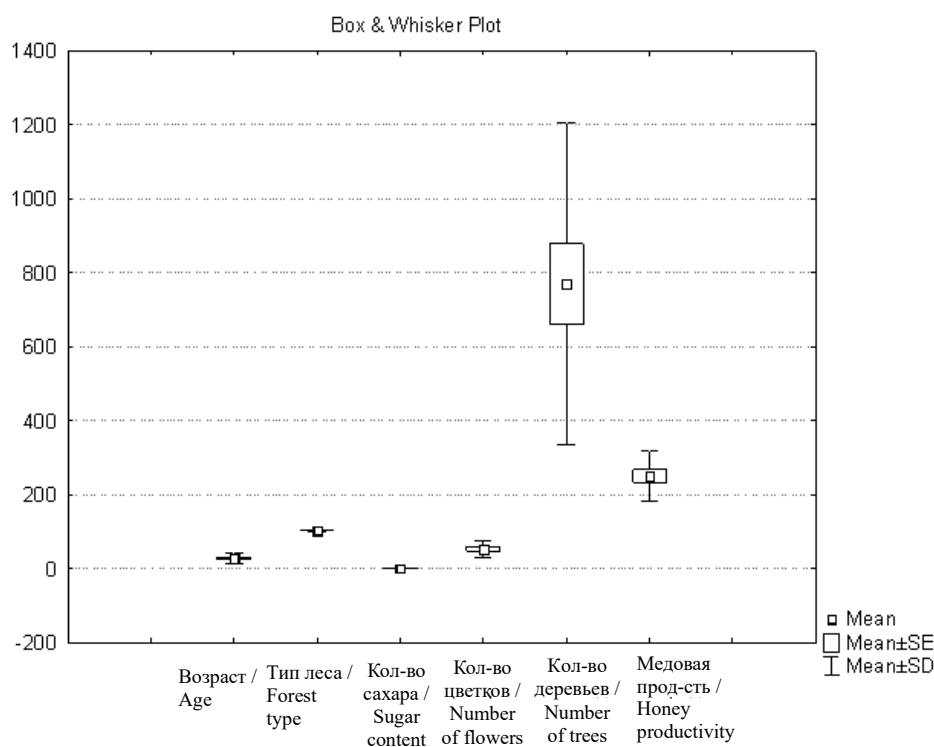


Рис. 2. Доверительные интервалы стандартных ошибок (Std. Dev.) и стандартных отклонений (Std. Err.) основных показателей робиниевых насаждений /

Fig. 2. Confidence intervals of standard errors (Std. Dev.) and standard deviations (Std. Err.) of the main indicators of Robinia stands

Из данных рисунка 2 видно, что уровень варьирования количества деревьев и медовой продуктивности наиболее высокий. Растения на изученной территории существенно отличаются по основным показателям, что говорит о высоком уровне гетерогенности или разнообразия популяции.

Высокий уровень варьирования, на наш взгляд, связан с разными факторами, такими как генетическая изменчивость, различия в условиях окружающей среды, влияние разных видов взаимодействий между растениями и другими.

Таблица 2 – Медовая продуктивность чистых насаждений *R. pseudoacacia* L. /
Table 2 – Honey productivity of *R. pseudoacacia* L. pure stands

| № пробной площади / Test Area No. | Возраст, лет / Age, years | Тип леса / Forest type | Кол-во сахара в одном цветке, мг / Sugar content in one flower, mg | Среднее кол-во цветков на одном дереве, тыс. шт. / Average number of flowers in one tree, thousand pieces | Количество деревьев на 1 га, шт. / Number of trees per 1 ha, pcs. | Медовая продуктивность, кг/га / Honey productivity, kg/ha |
|---|---------------------------------|--|---|--|--|---|
| 49 | 26 | Дубрава осоковая (ДОС) / Oak grove sedge | 1,62 | 53,042 | 713 | 306,3 |
| 73 | 21 | | 1,18 | 49,057 | 821 | 237,6 |
| 80 | 50 | | 2,21 | 90,532 | 323 | 323,1 |
| 101 | 38 | | 2,18 | 75,630 | 425 | 350,4 |
| 81 | 8 | | 0,85 | 20,670 | 1450 | 127,4 |
| 72 | 26 | Дубрава осоко-злаковая (ДОЗ) / Oak grove sedge and cereal | 1,20 | 51,750 | 750 | 232,9 |
| 105 | 21 | Дубрава осоково-злаковая (ДОЗЛ) / Oak grove sedge and cereal | 1,09 | 47,46 | 634 | 164,0 |
| 64 | 27 | | 1,13 | 58,86 | 707 | 235,1 |
| 89 | 38 | | 2,13 | 60,64 | 352 | 227,3 |
| 71 | 38 | Дубрава снытьево-осоковая (ДСО) / Oak grove glaucous-sedge | 2,24 | 65,034 | 409 | 297,9 |
| 39 | 50 | | 2,40 | 80,060 | 350 | 347,5 |
| 48 | 13 | | 1,15 | 26,730 | 1523 | 234,1 |
| 74 | 50 | Вязовник разнотравно-крапиво-ежевиковый (ВР) / Elm forest heterogeneous-nettle-blackberry | 1,86 | 90,563 | 350 | 294,8 |
| 79 | 8 | Суборь злаково-ракетинниковая (СЗР) / Subor cereal-broom | 0,97 | 21,730 | 1450 | 152,8 |
| 25 | 13 | Судубра злаковая (СЗЛ) / Sudubra cereal | 1,09 | 25,03 | 1348 | 183,9 |
| 56 | 27 | Дубняки байрачные на световых берегах (ДБСБ) / Small oak ravine forests on light banks | 1,68 | 50,162 | 709 | 298,7 |

Распределение на кластеры при анализе главных компонент на основе основных показателей выявило разделение робиниевых

насаждений на три группы или кластеры, что указывает на наличие различий в свойствах и характеристиках между ними (рис. 3).

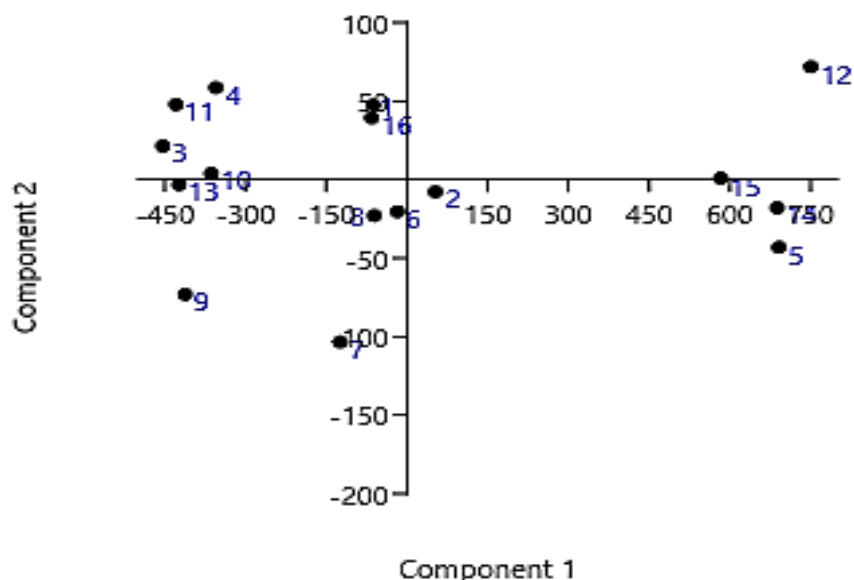


Рис. 3. Анализ главных компонент распределения в двумерном пространстве пробных площадок робиниевых насаждений по значениям основных показателей: числовые обозначения соответствуют следующим пробным площадкам: 1 – 49, 2 – 73, 3 – 80, 4 – 101, 5 – 81, 6 – 72, 7 – 105, 8 – 64, 9 – 89, 10 – 71, 11 – 39, 12 – 48, 13 – 74, 14 – 79, 15 – 25, 16 – 56 (описание площадок см. в табл. 1) /

Fig. 3. Analysis of the main components of the distribution in two-dimensional space of trial plots of Robinia stands according to the values of the main indicators: numerical designations correspond to the following trial plots: 1 – 49, 2 – 73, 3 – 80, 4 – 101, 5 – 81, 6 – 72, 7 – 105, 8 – 64, 9 – 89, 10 – 71, 11 – 39, 12 – 48, 13 – 74, 14 – 79, 15 – 25, 16 – 56 (see the description of the sites in the table 1)

Из данных рисунка видно, что рассмотренные показатели имеют стандартные отклонения, резко отличающиеся (разный уровень изменчивости) между показателями в популяции.

Высокие стандартные отклонения у большинства признаков (количество деревьев, медовая продуктивность, количество цветков и

возраст) указывают на большую их вариативность, что является результатом генетических различий, влияния окружающей среды и прочее (табл. 3).

Коэффициенты, полученные в процессе множественного регрессионного анализа показателей, даны в таблице 4.

Таблица 3 – Описательная статистика по основным показателям робиниевых насаждений /

Table 3 – Descriptive statistics on the main indicators of Robinia stands

| Показатель / Index | Среднее / Mean | Min | Max | Станд. откл. / Std. Dev. |
|---|----------------|--------|--------|--------------------------|
| Возраст, лет / Age, years | 28,375 | 8 | 50 | 14,3939 |
| Кол-во сахара в одном цветке, мг / Sugar content in one flower, mg | 1,5613 | 0,85 | 2,40 | 0,5372 |
| Среднее количество цветков на одном дереве, тыс. шт. / Average number of flowers in one tree, thousand pieces | 54,1844 | 20,670 | 90,563 | 22,8479 |
| Количество деревьев на 1 га, шт. / Number of trees per 1 ha, pcs. | 769,625 | 323 | 1523 | 434,7417 |
| Медовая продуктивность, кг/га / Honey productivity, kg/ha | 250,8625 | 127,4 | 350,4 | 69,4939 |

Таблица 4 – Множественный регрессионный анализ по оценке влияния на медовую продуктивность основных показателей робиниевых насаждений /

Table 4 – Multiple regression analysis to assess the influence of the main indicators of Robinia plantations on honey productivity

| Показатель / Index | Бета-коэффициент / Beta-coefficient | Ст. ошибка Std. Err. Бета-коэффициента / Standard error Beta coefficient | В-коэффициент / B-coefficient | Ст. ошибка Std. Err. В-коэффициента / Std. error B coefficient | t-статистика / t-statistics | Вероятность, P / Probability, P |
|--|--|---|----------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------------|
| Возраст / Age | -1,89045 | 0,967043 | -9,127 | 4,6689 | -1,95487 | 0,059106 |
| Тип леса / Forest type | 0,11886 | 0,146691 | 3,676 | 4,5363 | 0,81029 | 0,043663 |
| Кол-во сахара в одном цветке / Sugar content in one flower | 1,13343 | 0,35326 | 146,624 | 45,6987 | 3,20849 | 0,009356 |
| Среднее кол-во цветков на одном дереве / Average number of flowers in one tree | 2,18345 | 0,843711 | 6,641 | 2,5662 | 2,58791 | 0,027047 |
| Количество деревьев на 1 га / Number of trees per 1 ha | 0,46846 | 0,34937 | 0,075 | 0,0558 | 1,34087 | 0,020962 |

Примечания: Коэффициент детерминации $R = 0,91661012$, $F(5,10) = 10,514$, Ст. ошибка Std. Err. = 34,026392368. При $P < 0,05$ влияние основных показателей на медовую продуктивность псевдоакаки статистически значимое /

Notes: Determination coefficient $R = 0.91661012$, $F(5,10) = 10.514$, St. error Std. Err. = 34.026392368. If the probability $P < 0.05$ influence of the main indicators on the honey productivity of pseudo-acacia is statistically significant

Необходимо отметить, что одно из преимуществ бета-коэффициентов (по сравнению с В-коэффициентами) заключается в том, что бета-коэффициенты позволяют сравнить относительные вклады каждой независимой переменной в предсказание зависимой переменной. Наиболее значимы в медовой продуктивности *R. pseudoacacia* такие показатели, как тип леса, количество сахаров в одном цветке, среднее количество цветков и количество деревьев в пересчете на 1 га.

Эти данные представляют значения В-коэффициентов в множественном регрессионном анализе, показывают величину изменения зависимой переменной при изменении соответствующей независимой переменной на одну единицу при условии, что все остальные переменные остаются постоянными. В данном случае, В-коэффициенты указывают на влияние каждого из показателей (возраст, тип леса, количество сахаров в одном цветке, среднее количество цветков на одном дереве и количество деревьев на 1 га) на медовую продуктивность *R. pseudoacacia*. Отрицательное значение В-коэффициента для возраста акации (-9,127) означает, что увеличение возраста деревьев связано с уменьшением медовой продуктивности. Положительные значения В-коэффициентов для остальных показателей указывают

на положительную связь с медовой продуктивностью: тип леса (3,676); количество сахаров в одном цветке (146,624); среднее количество цветков на одном дереве (6,641); количество деревьев на 1 га (0,075).

Коэффициент детерминации R в регрессионном анализе указывает насколько тесной является связь между факторами регрессии и зависимой переменной, это соотношение объясненных сумм квадратов возмущений к необъясненным – чем ближе к 1, тем ярче выражена зависимость (табл. 5). Возраст растений, количество сахаров в цветке и количество цветков на дереве положительно влияют на медовую продуктивность, тогда как тип леса и плотность деревьев на гектар имеют незначительное или отрицательное влияние на нее.

Метод AMOVA позволяет определить, какие факторы влияют на изменения в группах и имеет множество применений. Поскольку вероятность $P < 0,05$, основные показатели оказывают влияние на медовую продуктивность псевдоакаки на статистически значимом уровне. Чем больше F-статистика, тем больше вариация между выборочными средними по сравнению с вариациями внутри выборок. То есть, чем больше значение F-статистика, тем больше доказательств того, что существует разница между средними группами. Значение

F-статистики = 10,51362 показывает значительное влияние на медовую продуктивность

R. pseudoacacia основных показателей робиниевых насаждений (табл. 6).

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции по результатам множественного регрессионного анализа (P<0,05) /

Table 5 – Correlation coefficients based on the results of multiple regression analysis (P<0.05)

| Показатель / Index | Возраст / Age | Тип леса / Forest Type | Кол-во сахара в одном цветке / Sugar content in one flower | Среднее кол-во цветков на одном дереве / Average number of flowers in one tree | Количество деревьев на 1 га / Number of trees per 1 ha |
|--|------------------|------------------------------|---|---|---|
| Медовая продуктивность робиниевых насаждений / Honey productivity of Robinia plantations | 0,81 | -0,12 | 0,85 | 0,81 | -0,72 |

Таблица 6 – Дисперсионный анализ АМОВА по оценке влияния на медовую продуктивность основных показателей робиниевых насаждений /

Table 6 – AMOVA analysis of variance to assess the influence of the main indicators of Robinia plantations on honey productivity

| Сумма квадратов / Sum of squares | Число степеней свободы, df / Number of degrees of freedom, df | Сумма средних квадратов / Sum of mean squares | F-статистика / F-statistics | Вероятность, P / Probability, P |
|--|---|---|--------------------------------|------------------------------------|
| 60863,08 | 5 | 12172,62 | 10,51362 | 0,000988 |

Таким образом, можно утверждать, что выполненные исследования по изучению показателей медоносного растения находятся в тесной зависимости от лесорастительных условий.

Нами проведен анализ характеристики пробных площадей в искусственных насаждениях, заложенных для наблюдения за влиянием таксационных показателей и интенсивности цветения на некторовыделение *R. pseudoacacia* L. Изучение ряда положений по взаимоотношению *R. pseudoacacia* L. с сопутствующими породами позволило выделить основные моменты, которые оказывают непосредственное влияние на рост, развитие и медовую продуктивность насаждений.

По биологическим и экологическим характеристикам гледичия обыкновенная или трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.) имеет схожие признаки с *R. pseudoacacia* L. Гледичия и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) отличаются особенностями корневой системы, что создает конкурентную борьбу с робинией за почвенную влагу и элементы питания в верхних горизонтах. Поверхность почвы в культурах, в составе которых эти две породы, быстро зарастает дерниной, так как они плохо оттепляют почву. Все это ведет к нарушению водного баланса, суховершинности и отмиранию

насаждения. В первые годы жизни гледичия угнетается со стороны робинии псевдоакация. Замечено, что лучшему росту *R. pseudoacacia* L. способствует появление в составе древостоя ясеня зеленого (*Fraxinus lanceolata* L.).

Включение в степной зоне в состав насаждений клена остролистного (*Acer platanoides* L.), который угнетается корневой системой робинии, и клена полевого (*Acer campestre* L.) благоприятно отражается на скорости роста робинии псевдоакация и на ее устойчивости. В сухих типах насаждений робинии не рекомендуется вводить клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), так как положительного результата по совместному росту этих пород не выявлено.

Отмечено, что в смешанных посадках *R. pseudoacacia* L. опережает в росте по высоте вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), это связано с влиянием полога вяза на верхние слои почвы и его восприимчивостью к голландской болезни. Необходимо отметить, что массовая поломка деревьев этих пород связана с возникновением гололеда.

Нами проведены исследования по уточнению медовой продуктивности смешанных древостоев с разным участием в составе культур *R. pseudoacacia* L.

Систематизировав полученные результаты исследований, получили, что медовая продуктивность древостоя находится в прямой зависимости от доли участия *R. pseudoacacia* L. в его составе. При расчетах медовой продук-

тивности насаждения учитывали продуктивность всех медоносных растений в составе древостоя. С увеличением доли участия *R. pseudoacacia* L. в составе древостоя медовая продуктивность насаждений повышалась от 84 до 412 кг/га (рис. 4).

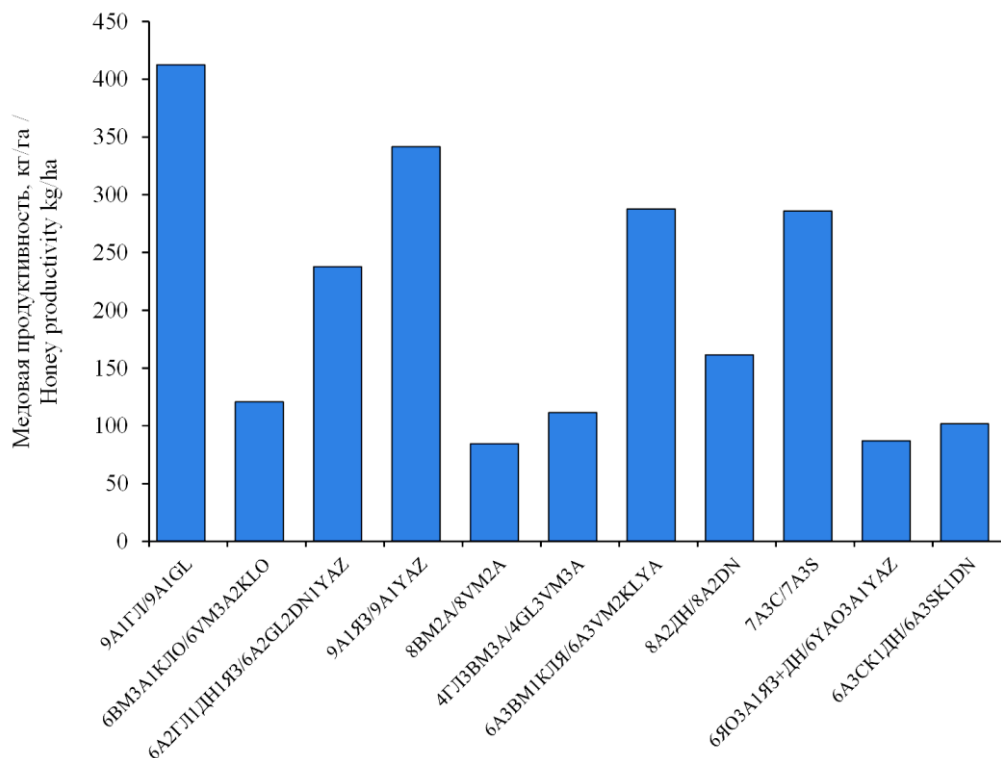


Рис. 4. Медовая продуктивность смешанных насаждений с участием *R. pseudoacacia* L. (в формуле состава А – акация или робиния лжеакация, ГЛ – гледичия обыкновенная, ВМ – вяз мелколистный, ДН – дуб низкостовольный, КЛО – клен остролистный, КЛЯ – клен ясенелистный, ЯЗ – ясень зеленый, С – сосна обыкновенная, СК – сосна крымская, ЯО – ясень обыкновенный), кг/га

Fig. 4. Honey productivity of mixed plantations with participation of *R. pseudoacacia* L. (in formula А – acacia or robinia pseudoacacia, GL – common gledicia, VM – fine-leaved elm, DN – low-barreled oak, CLO – sharp-leaved maple, CLL – ash-leaved maple, YAZ – green ash, C – common pine, SC – Crimean pine, YAO – common ash), kg/ha

Полученные данные в результате исследования позволили обработать материал и вывести уравнение зависимости медовой продуктивности от состава насаждения: $Y = 45,738X - 27,56$. Коэффициент корреляции $r = 0,9492$ показывает на значимую связь рассмотренных показателей медовой продуктивности древостоя (Y, кг/га) и участия *R. pseudoacacia* L. в составе древостоя (X, ед).

По нашим исследованиям получено также уравнение зависимости $Y = 0,0343X^2 + 2,1089X + 77,484$, $r = +0,9858$, указывающее на связь между содержанием сахара в нектаре 100 цветков (X, мг) и возрастом (Y, лет).

Впоследствии получена связь между медовой продуктивностью *R. pseudoacacia* L. и возрастом, что выражается уравнением:

$Y = 4,114 + 364,1, R^2 = 0,5391$, где Y – медовая продуктивность древостоя, кг/га, X – возраст древостоя, лет.

Медовая продуктивность *R. pseudoacacia* L. неуклонно увеличивается с возраста молодого древостоя до приспевающего насаждения. Полученные результаты согласуются с данными югославских ученых о наибольшей медовой продуктивности (около 500 кг/га) старых акациевых лесов [5].

Наши исследования показали, что медовая продуктивность находится в зависимости не только от выделения сахара одним цветком, но и от интенсивности цветения *R. pseudoacacia* L. и количества медоносных деревьев на участке (табл. 7) [15].

Таблица 7 – Медовая продуктивность робиниевых древостоев разного возраста /
Table 7 – Honey productivity of Robinia stands of different ages

| Показатель / Indicators | Группа возраста, лет / Age group, years | | | | |
|--|---|-----------------------------------|--------|--------|----------------------------|
| | молодняки / young | средневозрастные / medium-aged | | | приспевающие / henshmen |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Содержание сахара в одном цветке, мг / Sugar content in one flower, mg | 1,10 | 1,18 | 1,74 | 2,27 | 2,64 |
| Кол-во цветков на одном дереве, тыс. шт. / Number of flowers on one tree, thousand pieces | 26,345 | 48,348 | 70,656 | 90,234 | 86,532 |
| Кол-во деревьев на 1 га, шт. / Number of trees per 1 ha, pcs | 2500 | 1554 | 894 | 572 | 434 |
| Медовая продуктивность, кг/га / Honey productivity, kg/ha | 362,5 | 442,5 | 550 | 586,3 | 496,3 |
| Медовая продуктивность, % от max / Honey productivity, % of max | 61,8 | 75,5 | 93,8 | 100 | 84,6 |

Еще одним таксационным показателем, от которого зависит динамика медовой продуктивности насаждений *R. pseudoacacia* L., является густота древостоя. В результате обработки данных нами получено уравнение обратной зависимости $Y = -0,1913X + 518,61$, $r = -0,6111$, которое указывает на связь изучаемых показателей: густота древостоя (X , шт/га) и медовая продуктивность (Y , кг/га).

Линейным уравнением выражается связь медовой продуктивности и интенсивности цветения: $Y = 4,2775X + 60,83$, $R^2 = 0,8026$, где Y – медовая продуктивность древостоя, кг/га, X – количество цветков на дереве, шт/экз. Полученная зависимость, безусловно, имеет практический интерес.

Анализ полученных данных по изменению медовой продуктивности насаждений *R. pseudoacacia* L. по группам возраста показал, что повышение интенсивности цветения и количества сахара в нектаре цветков в возрасте от молодняка до средневозрастного древостоя (40 лет) оказывает влияние на рост медовой продуктивности робиниевых насаждений от 362,5 до 586,3 кг/га. Динамика роста изучаемого показателя наблюдается с 10-летнего возраста древостоя с продуктивностью 61,8 % от полученной максимальной, а своего максимума достигает в возрасте 40 лет. Уменьшение числа деревьев *R. pseudoacacia* L. на единице площади в возрасте 50 лет приводит к снижению медовой продуктивности до 397 кг/га, что составляет 84,6 % от максимума.

Наши исследования показали, что в условиях степного Придонья при создании лесных полос с участием робиниевых насаждений для рационального использования их медоносной базы необходимо учитывать следующее:

- не рекомендуется полезащитные лесные полосы создавать из чистых робиниевых насаждений, так как они образуют ажурную конструкцию, что способствует проникновению большого количества сорной травянистой растительности;

- необходимо вводить при создании полезащитных лесных полос для оттенения почвы сопутствующие теневыносливые древесные породы с хорошо развитыми кронами, при этом сохраняя участие *R. pseudoacacia* L., как главной породы. Своевременно проводить у сопутствующих пород подрезку нижних сучьев.

С целью повышения медосбора с *R. pseudoacacia* L. в условиях лесных полос рекомендуем следующие мероприятия:

- в сезон медосбора разделить пасеку на несколько групп из ульев и организовать их установку в лесных полосах таким образом, чтобы обширно охватить площадь угодий с участием медоносного растения. Учитывая радиус эффективного лета пчел 2 км, т. е. радиус оптимального использования источника, при имеющихся особенностях структуры и расположения полезащитных лесных полос на территории степного Придонья, под отдельную пасеку из 40-50 пчелиных семей планируется отводить около 26 га пастбищных угодий из медоносных древесных, кустарниковых и травянистых видов;

- для эффективного сбора нектара за короткий период цветения *R. pseudoacacia* L. в благоприятно складывающихся для медосбора погодных условиях в данной местности необходимо обеспечить пасеку здоровыми и крепкими пчелиными семьями.

Степное Придонье – это уникальный регион [16, 17, 18], где пчеловодство может

быть успешно развито, даже при сложных погодных условиях. Соблюдение представленных рекомендаций по размещению пасек в период медосбора позволяет не только получать товарную продукцию пчеловодства, но и способствует своевременному опылению культур и дикорастущих растений

Выводы. Выполненные исследования имеют важное практическое значение, так как позволяют более точно рассчитать медовую продуктивность робиниевых древостоев с учетом динамики их таксационных показателей. Комплексный анализ особенностей медовой продуктивности разновозрастных чистых и смешанных насаждений *R. pseudoacacia* L. показал:

1. В насаждениях *R. pseudoacacia* L. с лучшими таксационными показателями в условиях ДСО Д₂ в приспевающем возрасте наблюдается активное выделение сахара в нектаре 2,48 мг и

интенсивное цветение деревьев 80,060 тыс. шт., что позволяет получить высокую медовую продуктивность насаждений 347,5 кг/га.

2. С изменением возраста насаждений количество сахара в одном цветке *R. pseudoacacia* L. неуклонно растет и максимум медовой продуктивности гектара робиниевых насаждений, которая зависит от интенсивности цветения и содержания сахара в нектаре одного цветка, отмечается в возрасте 40 лет.

3. Выведенные нами уравнения зависимости медовой продуктивности от таксационных характеристик насаждений *R. pseudoacacia* L. и полученные высокие коэффициенты корреляции указывают на тесную связь изучаемых показателей. Динамика густоты древостоя с возрастом понижается, а интенсивность цветения увеличивается.

Список литературы

1. Самсонова И. Д., Нешатаев В. Ю., Тхао Д. В., Зыонг Н. Т. Эколого-биологический анализ медоносов березняков. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019;(229):104-117. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41571774> EDN: AOMVSU
2. Hill D. B., Webster T. C. Apiculture and forestry (bees and trees). Agroforestry Systems. 1995;29(3):313-320. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00704877>
3. Levin M. D. Value of Bee Pollination to United States Agriculture. American Bee Journal. 1984;(124):184-186.
4. Srdić D. Vaznost pčelarstva šumarstvo. Šumarskilist. 1946;1-6:55-56.
5. Овчинникова М. А., Морев Л. Я. Биопотенциал фитоценозов медоносных растений Краснодарского края. Пчеловодство. 2022;(8):18-20.
6. Керестеши С. Лес белой акации – база венгерского пчеловодства. Апиакта. 1984;(1):1-9.
7. Rauš Đ., Vukelić J., Španjol Ž. Bagremova šuma kao ispaša za pčele. Šumarski list. 1988;112(7-8):351-359.
8. Самсонова И. Д., Саттаров В. Н. Ресурсный потенциал угодий для медосбора степного Придонья: монография. Воронеж: АгПринт, 2021. 210 с.
9. Samsonova I., Gryazkin A., Belyaeva N., Bepalova V., Lyubimov A., Belyaev V., Petrik V. Nature-oriented potential resource and melliferous value of forest belts in steppe agro-forest landscapes. Folia Forestalia Polonica, Series A. 2018;60(2):99-107. URL: <https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/16267/DOI%2010.2478-ffp-2018-0010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Самсонова И. Д. Биоресурсный потенциал экосистем степного Придонья как база развития пчеловодства. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2014;4(43):57-62. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23388481> EDN: TRVBPL
11. Клименкова Е. Т., Кушнир Л. Г., Бачило А. И. Медоносы и медосбор. Минск: Ураджай, 1980. 280 с.
12. Экологический вестник Дона. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2021 году. Ростов-на-Дону: Министерство природных ресурсов и экологии, 2021. 396 с. Режим доступа: <https://cloud.mail.ru/public/y4z8/iDnCunkzp>
13. Саттаров В. Н., Самсонова И. Д., Морев И. А., Ильясов Р. А. Фундаментальные методы исследований в пчеловодстве и их результаты. Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2023. 183 с.
14. Суханова Л. В., Котов М. М. Лесные ресурсы пчеловодства. Пчеловодство. 2000;(6):23-24.
15. Самсонова И. Д., Добрынин Н. Д. Улучшение биоресурсного потенциала медоносных угодий степного Придонья. Вестник РАСХН. 2013;(4):37-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19428932> EDN: QJEGGD
16. Турчин Т. Я. Естественные степные дубравы донского бассейна и их восстановление. М.: ВНИИЛМ, 2004. 312 с.
17. Богданова И. Б. Степные медоносы на орошаемых землях Ростовской области. Пчеловодство. 2020;(3):25-27.
18. Турчин Т. Я., Турчин Т. А. Древесная флора естественных лесных экосистем в степной части донского бассейна. Оценка биологического разнообразия. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2008;(4):105-106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11635222> EDN: IVDYUV

References

1. Samsonova I. D., Neshataev V. Yu., Tkhaov D. V., Zyong N. T. Ecological and biological analysis of honey plants of birch stands. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2019;(229):104-117. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41571774>
2. Hill D. B., Webster T. C. Apiculture and forestry (bees and trees). Agroforestry Systems. 1995;29(3):313-320. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00704877>
3. Levin M. D. Value of Bee Pollination to United States Agriculture. American Bee Journal. 1984;(124):184-186.

4. Srdić D. Vaznost pčelarstva za šumarstvo. Šumarski list. 1946;1-6:55-56.
5. Ovchinnikova M. A., Moreva L. Ya. Biopotential of phytocenosis of honey plants of the Krasnodar territory. *Pchelovodstvo*. 2022;(8):18-20. (In Russ.).
6. Keresteshi S. White acacia forest is the base of Hungarian beekeeping. *Apiakta*. 1984;(1):1-9.
7. Rauš Đ., Vukelić J., Španjol Ž. Bagremova šuma kao ispaša za pčele. Šumarski list. 1988;112(7-8):351-359.
8. Samsonova I. D., Sattarov V. N. Resource potential of land for honey collection in the steppe Don region: monograph. Voronezh: *ArtPrint*, 2021. 210 p.
9. Samsonova I., Gryazkin A., Belyaeva N., Bepalova V., Lyubimov A., Belyaev V., Petrik V. Nature-oriented potential resource and melliferous value of forest belts in steppe agro-forest landscapes. *Folia Forestalia Polonica, Series A*. 2018;60(2):99-107. URL: <https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/16267/DOI%2010.2478-ffp-2018-0010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Samsonova I. D. bioresource potential of steppe ecosystems of don basin from the point of view of regional apiculture development. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2014;4(43):57-62. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23388481>
11. Klimenkova E. T., Kushnir L. G., Bachilo A. I. Honey plants and honey collection. Minsk: *Uradzhay*, 1980. 280 p.
12. Ecological Bulletin of the Don. On the state of the environment and natural resources of the Rostov region in 2021. Rostov-na-Donu: *Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii*, 2021. 396 p. URL: <https://cloud.mail.ru/public/y4z8/iDnCunkzp>
13. Sattarov V. N., Samsonova I. D., Morev I. A., Ilyasov R. A. Fundamental research methods in beekeeping and their results. Ufa: *BGPU im. M. Akmully*, 2023. 183 p.
14. Sukhanova L. V., Kotov M. M. Forest resources of beekeeping. *Pchelovodstvo*. 2000;(6):23-24.
15. Samsonova I. D., Dobrynin N. D. Improving the bioresource potential in nectarous lands of Predon steppe. *Vestnik RASKhN*. 2013;(4):37-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19428932>
16. Turchin T. Ya. Natural steppe oak forests of the Don basin and their restoration. Moscow: *VNIILM*, 2004. 312 p.
17. Bogdanova I. B. Steppe honey plants on irrigated lands of the Rostov region. *Pchelovodstvo*. 2020;(3):25-27. (In Russ.).
18. Turchin T. Ya., Turchin T. A. The wood flora of natural wood ecosystems in steppe part of the river don basin. Evaluation of biological variety. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* = Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Natural Sciences. 2008;(4):105-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11635222>

Сведения об авторах

✉ **Самсонова Ирина Дмитриевна**, доктор биол. наук, профессор кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова», пер. Институтский, 5У, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194021, e-mail: public@spbfu.ru; профессор кафедры экологии, географии и природопользования, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», ул. Октябрьской революции, д. 3-а, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450008, e-mail: office@bspu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5301-5618>, e-mail: isamsonova18@mail.ru

Саттаров Венер Нуруллович, доктор биол. наук, профессор кафедры биоэкологии и биологического образования, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», ул. Октябрьской революции, д. 3-а, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450008, e-mail: office@bspu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6331-4398>

Ильясов Рустем Абузарович, доктор биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития, ФГБУН Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, ул. Вавилова, д. 26, г. Москва, Российская Федерация, 119334, e-mail: info@idbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2445-4739>

Плахова Алевтина Алексеевна, доктор биол. наук, профессор кафедры биологии, биоресурсов и аквакультуры, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», ул. Добролюбова, 160, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5957-8101>

Information about the authors

✉ **Irina D. Samsonova**, DSc in Biological Science, Professor at the Department of Forestry, Saint-Petersburg State Forest Technical University, per. Institutskiy, 5U, Saint Petersburg, Russian Federation, 194021, e-mail: public@spbfu.ru, Professor at the Department of Ecology, Geography and Nature Management, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, st. October Revolution, 3-a, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450008, e-mail: office@bspu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5301-5618>, e-mail: isamsonova18@mail.ru

Vener N. Sattarov, DSc in Biological Science, Professor at the Department of Bioecology and Biological Education, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, st. October Revolution, 3-a, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation, 450008, e-mail: office@bspu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6331-4398>

Rustem A. Ilyasov, DSc in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Developmental Neurobiology, Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, st. Vavilova, 26, Moscow, Russian Federation, 119334, e-mail: info@idbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2445-4739>

Alevtina A. Plahova, DSc in Biological Science, Professor at the Department of Biology, Bioresources and Aquaculture, Novosibirsk State Agrarian University, st. Dobrolyubova, 160, Novosibirsk, Russian Federation, 630039, e-mail: rector@nsau.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5957-8101>

✉ – Для контактов / Corresponding author

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

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.605-611>
УДК 677.11:017.46



Оценка делимости модифицированного льняного волокна для определения его качества

© 2023. Е. А. Пашин¹ ✉, А. В. Орлов²

¹ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Кострома, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО Костромской государственный университет, г. Кострома,
Российская Федерация

Проблема импортозамещения хлопка для производства текстильных материалов обеспечивает актуальность направления, связанного с получением модифицированного льняного волокна (МЛВ). Его использование перспективно в текстильной промышленности при прядении в смеси с хлопком или иными волокнами в производстве нетканого материала и биокмпозитов, где МЛВ применяют как армирующий наполнитель. В связи с этим существующие стандартные методы оценки параметров качества МЛВ требуют совершенствования в части определения показателей технологической ценности для прогнозирования изменчивости структуры волокон при их переработке. В частности, установленное на практике уменьшение длины и тонины МЛВ на этапах его подготовки к прядению требует учета степени изменения этих показателей по отношению к исходному состоянию. По результатам исследования предложен способ оценки делимости МЛВ в процессе его переработки посредством скользящего изгиба относительно закругленных рабочих кромок, имитирующего технологические воздействия, имеющие место на практике. Применение неизменных режимов обработки и параметров рабочих органов обеспечивает уменьшение тонины волокна (T) на величину $\Delta = T_{\text{исх}} - T_{\text{коп}}$. При исходном показателе тонины $0,109...0,135$ мкм значение характеристики Δ – разная (\approx от $0,010$ до $0,098$ мкм). Предложено оценку делимости волокон осуществлять по величине $D = \Delta \cdot 100 / T_{\text{исх}}$. При экспериментальной проверке нового способа оценки делимости с использованием волокна разного качества, выращенного на предприятиях Тверской области и Удмуртской Республики, выявлено изменение величины D в пределах от $0,10...0,15$ до $7,30...7,70$ %. Установлено, что предложенный способ с применением стандартного показателя «тонина волокна» позволяет учитывать степень межволоконных связей, исходя из общепризнанных причин их формирования. Использование этого метода позволяет дифференцировать промышленные партии МЛВ по их делимости при воздействии на них сил равной интенсивности, возникающих посредством скользящего изгиба.

Ключевые слова: испытание, лубяное волокно, модифицированное волокно, котонин, длина, скользящий изгиб, дробление, утонение, тонина, делимость

Благодарности: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-26-00147). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пашин Е. А., Орлов А. В. Оценка делимости модифицированного льняного волокна для определения его качества. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):605-611.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.605-611>

Поступила: 09.03.2023

Принята к публикации: 27.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Estimating splitting capability of modified flax fiber during quality control

© 2023. Evgenij L. Pashin¹ ✉, Alexander V. Orlov²

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russian Federation,

²Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation

The existing problem of cotton import substitution ensures the relevance of modified flax fiber production. Modified flax fiber has potential uses in textile manufacturing when mixed with cotton or similar fibers in order to produce non-woven textile materials, as well as armature for biocomposite materials. As such, it is necessary to alter the existing methods of determining modified flax fiber quality in order to pick new quality metrics corresponding to the changes to fiber's structure during

processing. In particular, average thickness and length of the modified flax fiber suffer a degree of reduction during fiber's preparation for spinning, which needs to be measured and taken into account. As the result of the research there was proposed the way to estimate the fractioning quotient of modified flax fiber via sliding bending against rounded edges imitating the effects of actual fiber processing. When working parameters and edge geometry are constant, fiber thickness is reduced by $\Delta = Torig - Tres$. For fiber with thickness $Torig$ in range of 0.109 to 0.135 micrometers the value of Δ differs from approximately 0.010 to 0.098 micrometers. It was suggested to estimate the fractioning quotient according to value of $D = 100 \cdot \Delta / Torig$. During experimental testing of this method using various quality fiber produced in Tver region and Udmurtia Republic the value of D was varying from 0.10...0.15 % to 7.3...7.7 %. It has been established that the suggested method with the use of standard indicator «fiber thickness» enables to take into account the strength of inter-fiber connections according to the currently accepted theory of their formation. Applying this method makes it possible to differentiate full-scale shipments of modified flax fiber using sliding bending stress performed under identical conditions.

Keywords: testing, bast fiber, modified flax fiber, cottonin, length, sliding bending, fractioning, thinning, thickness, fractioning capability

Acknowledgements: this research has been subsidized by Russian scientific foundation (project No. 23-26-00147).

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: Pashin E. L., Orlov A. V. Estimating splitting capability of modified flax fiber during quality control. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(4):605-611. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.605-611>

Received: 09.03.2023

Accepted for publication: 27.07.2023

Published online: 30.08.2023

Проблема импортозамещения хлопка для производства текстильных материалов обеспечивает актуальность направления, связанного с получением модифицированного льняного волокна (далее МЛВ)¹, иногда называемого котонином². Его использование возможно при прядении в смеси с хлопком или иными волокнами для получения пряжи, в производстве нетканого материала и биокomпозитов с волокнистым наполнителем [1, 2, 3].

Начиная с первой половины прошлого века, в связи дефицитом хлопка, в СССР активно проводились работы по разработке различных технологий котонизации [4, 5]. Ряд из них в настоящее время применяют в производстве [6, 7]. С использованием получаемого МЛВ для практики предложены процессы изготовления смесовых пряж [8, 9].

Однако до сих пор существуют различные мнения относительно требуемых показателей, полноценно характеризующих качество МЛВ как сырья для текстильных производств. Указывается на необходимость совершенствования методов исследования длины и линейной плотности волокон [10, 11]. Отмечается значительная погрешность при определении указанных показателей действующему стандарту³.

Из анализа опубликованных результатов исследований по использованию МЛВ при

производстве смесовой пряжи, следует необходимость учёта его свойств, отличающихся от свойств волокон, с которыми они смешиваются [7, 8, 12]. Важной является оценка неровноты геометрических параметров волокон, от которой зависит номер получаемой пряжи. Этот факт вытекает из известной формулы Мартиндейла [4, с. 76]. Исследователями выявлена значимая корреляция между длиной и линейной плотностью волокон, что позволяет проводить оценку одного из этих показателей по величине другого.

Указана необходимость контроля показателей структуры волокнистых комплексов котонина, характеризующих её изменение в процессе переработки перед прядением [7, 11, 13, 14]. Такой вывод следует из выявленного снижения до 30 % их линейной плотности и длины МЛВ на этапах его подготовки к прядению. По мере выполнения подготовительных операций наблюдается рост доли волокон «пуховой» группы и, как следствие, потеря таких волокон до 50...60 % от их исходной массы. Эти особенности переработки МЛВ связаны не только с параметрами работы машин, но и с качеством исходного волокнистого сырья.

Таким образом, важна оценка показателей качества МЛВ, которые определяют пригодность волокнистых комплексов к их переработке на этапах подготовки к прядению.

¹ГОСТ Р 53483-2009. Волокно льняное модифицированное суровое. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293821/4293821745.pdf>

²Ирхен А. К. Котонизация. М.: Гизлегпром, 1934. 160 с.

³Шитик Е. В. Разработка и исследование процессов пневмомеханического прядения при выработке хлопкольняной пряжи: автореф. дисс...канд. техн. наук. Иваново: ИВГТА, 1998. 23 с.

Причинами снижения длины и линейной плотности (тонины) исходных волокнистых комплексов МЛВ и образование волокон «пуховой группы» является их продольно-поперечное дробление, вплоть до размеров элементарных волокон. Это объясняется особенностями строения и структуры МЛВ [4, 5]. Волокнистые комплексы состоят из совокупности связанных между собой природной «склейки» элементарных волокон, смещенных по длине по отношению друг к другу. Устойчивость таких комплексов к упомянутому дроблению в процессе их переработки, очевидно, будет определяться степенью «склейки», то есть силами межволоконных связей. Снижение их величины и утонение волокнистых комплексов при сохранении желаемой длины является основной задачей предварительной обработки котонина-сырца [4].

Степень связности волокон зависит от совокупности факторов, доминирующим из которых является способность к расщеплению (делимости) лубяных пучков, составляющих техническое волокно^{4, 5, 6}. При условии постоянной интенсивности и длительности механических воздействий при обработке льнотресты, а в последующем и технического волокна, делимость его волокнистых комплексов определяется биологической спелостью стеблей льна, а также степенью их вылежки или вымочки при получении тресты. Дополнительно к этому на связность волокон между собой в сортах льна также оказывает влияние диаметр и зона по длине стебля⁷. Из этого следует, что степень связности волокнистых комплексов МЛВ не является постоянной и зависит от свойств исходного льняного сырья.

Подтверждением такому заключению являются результаты белорусских исследователей [7], установивших, что геометрические и физико-механические характеристики котонина, доставленного из разных льносеющих регионов, имеют существенные различия, достигающие 15-35 %.

Однако в системе методов испытания параметров качества МЛВ по действующему ГОСТ Р 5348-2009⁸ не предусмотрен учёт способности МЛВ делиться на более тонкие комплексы. Такое положение дел не позволяет прогнозировать изменение его структуры при переработке к моменту поступления волокна в зону прядения. Этот недостаток снижает эффективность проектирования и организации производства пряжи необходимого качества, с учетом исходных свойств перерабатываемого сырья.

Из этого следует важность разработки метода оценки делимости волокон как характеристики, требующей учета при определении качества МЛВ в целях его стандартизации и управления процессом переработки.

Цель исследований – разработка методических основ оценки делимости модифицированного льняного волокна для прогнозирования возможного снижения его линейной плотности и длины в процессе последующей обработки.

Новизна исследований – разработка инструментального метода, позволяющего контролировать способность льняных модифицированных комплексов к делимости (поперечно-продольному дроблению) на основе имитации технологических воздействий, преобладающих при переработке волокна в условиях текстильного производства.

Материал и методы. Льняное волокно, различающееся по свойствам, было получено из стеблей, убранных в несколько фаз биологической спелости, а также посредством приготовления тресты с различным показателем отделяемости волокна от древесины по ГОСТ 24383-89⁹. Для этого выращенные в условиях полевого опыта Костромской ГСХА стебли льна-долгунца сорта Томский 16 были убраны в два срока – в фазы «зеленая спелость» и «перестой». В стеблях льна при таких условиях формируется техническое волокно с различной степенью связи между элементарными волокнами за счет разной лигнификации, связывающих их срединных пластинок¹⁰. Для увеличения контраста

⁴Ордина Н. А. Структура лубоволокнистых растений и её изменение в процессе переработки. М.: Легкая индустрия, 1978. 127 с.

⁵Гребенкин А. Н. Взаимосвязь структуры, свойств и технологии диспергирования лубоволокнистого сырья в ультразвуковых и гидродинамических полях: дис ... д-ра техн. наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2003. 290 с.

⁶Пашин Е. Л., Пашина Л. В. Агропромышленные технологии производства льна. Ч.3. Производство тресты: учебное пособие. Кострома: КГТУ, 2004. 155 с.

⁷Городов В. В., Лазарева С. Е., Лунев И. Я. и др. Испытания лубоволокнистых материалов. М.: Легкая индустрия, 1969. 208 с.

⁸ГОСТ Р 53483-2009. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293821/4293821745.pdf>

⁹ГОСТ 24383-89. Треста льняная. Требования при заготовках. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 20 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294829/4294829888.pdf>

¹⁰Тихвинский С. Ф. Улучшение качества прядильного льна. Л.: Колос, 1978. 112 с.

по степени связи волокон из стеблей соломы каждой партии льна приготовили «недодежалую» стланцевую тресту и тресту с «нормальной вылежкой»¹¹. Степень вылежки контролировали по показателю «отделяемость», определяемому по ГОСТ Р 53143-2008¹².

Так были получены партии с различной потенциальной делимостью МЛВ. Наилучшая делимость ожидается у волокон, полученных из стеблей, убранных в фазе «зеленая спелость» и из тресты – в фазе «нормальная вылежка».

После выделения из тресты волокнистой составляющей в виде трепаных волокон их прочесывали и получали МЛВ с использованием метода нарезания¹³.

Для механической обработки модифицированного волокна с целью оценки его делимости (поперечно-продольного дробления) использовали способ скоростного скользящего изгиба волокнистых комплексов относительно закругленных кромок, перемещающихся рабочих органов в закрытой камере. Целесообразность применения этого способа для расщепления лубяных волокон в продольно-поперечном направлении установлена ранее [5].

Оценку степени делимости волокон проводили по величине относительной разности размеров поперечника волокон, определяемого до и после механического воздействия. Использование такой оценки обусловлено её взаимосвязью с показателем расщепленности лубяных волокон, который связан с их линейной плотностью. Косвенно линейную плотность оценивали по тонине волокон, используя стандартные методы испытаний на основе гравиметрического¹⁴ или автоматизированного анализа по ГОСТ Р 53484-2022¹⁵.

Предложенный инструментальный метод оценки делимости МЛВ заключается в следующем. От анализируемой партии МЛВ отбирают пробу волокон определенной длины и массы, которую делят на две равные части (массой 30 мг). По первой части пробы определяют тонину волокна ($T_{исх}$) по стандартной методике (ГОСТ Р 53484-2022). Вторую часть пробы помещают в рабочую зону специального лабо-

раторного устройства, где реализуется процесс скоростного скользящего изгиба волокон в течение 5 с при неизменной интенсивности воздействий. Форма рабочей зоны – полый цилиндр высотой 0,07 м, имеющий внутренний диаметр 0,055 м. На внутренней стенке камеры по ее высоте диаметрально расположены два выступа с трехугольным сечением для циклического изменения траектории перемещения волокон вдоль стенки камеры. Обработка волокна осуществляется посредством его взаимодействия с рабочими органами в виде изогнутых под углом $\pi/2$ пластин длиной 0,05 м с закругленными кромками ($r = 0,75$ мм) и вращающимися с угловой скоростью 210 рад/с.

После обработки пробы волокна определяют тонину ($T_{кон}$). Относительное уменьшение этого показателя представляет искомую характеристику – делимость МЛВ. Расчет делимости волокон (D , %) проводили по формуле:

$$D = (T_{исх} - T_{кон}) \cdot 100 / T_{исх}.$$

Результаты и их обсуждение. С использованием изложенных методов исследования была решена задача по выявлению влияния факторов «фазы биологической спелости льна» и «степень вылежки тресты» на величину делимости МЛВ. Результаты представлены на рисунке 1.

Из полученных данных следует хорошее согласование фактических значений делимости МЛВ с ожидаемыми, исходя из общепризнанных представлений об изменении межволоконных связей в льняных комплексах, полученных из стеблей, отличающихся по биологической спелости и степени вылежки тресты. С применением дисперсионного анализа установлены статистически доказуемые при 95%-ной вероятности различия делимости между уровнями указанных факторов. Наиболее делимым оказалось МЛВ, полученное из волокна, выделенного из тресты нормальной вылежки, исходные стебли для получения которой убраны с поля в фазу «зеленая спелость». Худшая делимость формируется в стеблях «перестоя» с получением недодежалой тресты.

¹¹Пашин Е. Л., Пашина Л. В. Указ.соч.

¹²ГОСТ Р 53143-2008. Треста льняная. Требования при заготовках. М.: Стандартинформ, 2009. 17 с.
URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/481/48196.pdf>

¹³Рыжов А. И., Живетин В. В., Винтер Ю. А. Котонизация льняного волокна методом нарезания. Текстильная промышленность. 1996;(5):25-26.

¹⁴Кобляков А. И., Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. и др. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению. М., Легпромбытиздат, 1986. 344 с.

¹⁵ГОСТ Р 53484-2022. Лен трепаный. Технические условия. М., Стандартинформ, 2021. 20 с.
URL: <https://rags.ru/gosts/gost/77947/?ysclid=lkjweax4r2434117879>

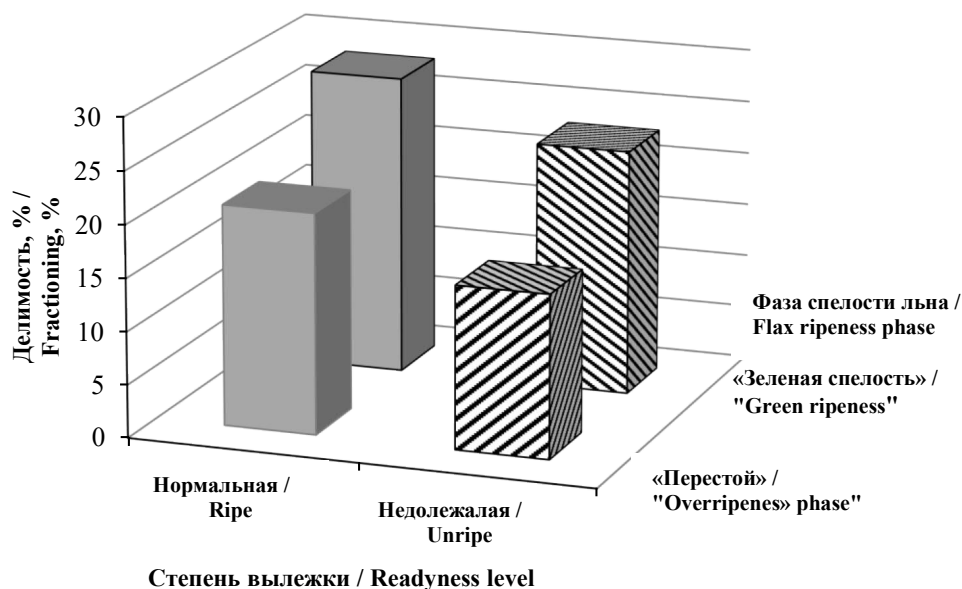


Рис. 1. Изменение показателя «делимость волокна» в зависимости от биологической спелости стеблей льна и степени вылежки тресты /

Fig. 1. The change of «fractioning ability» indicator depending on the ripeness of the flax stems and readiness level of the retted straw

Для проверки предложенного метода оценки делимости МЛВ провели сравнительное изучение этого показателя (Д, %) с использованием четырёх партий МЛВ (КЛК1...КЛК4), выработанного на Кашинском льнокомбинате (Тверская обл.) и трех партий (Шар1...Шар3) – на Шарканском льнозаводе (Удмуртия). Партии волокна имели разное качество, обусловленное

условиями получения сырья. Применительно к каждой партии определили тонины волокна и величину коэффициента вариации по этому показателю в виде отношения значений среднего квадратического отклонения с среднему арифметическому (рис. 2). После этого провели расчет показателя делимости (Д, %). Полученные результаты представлены на рисунке 3.

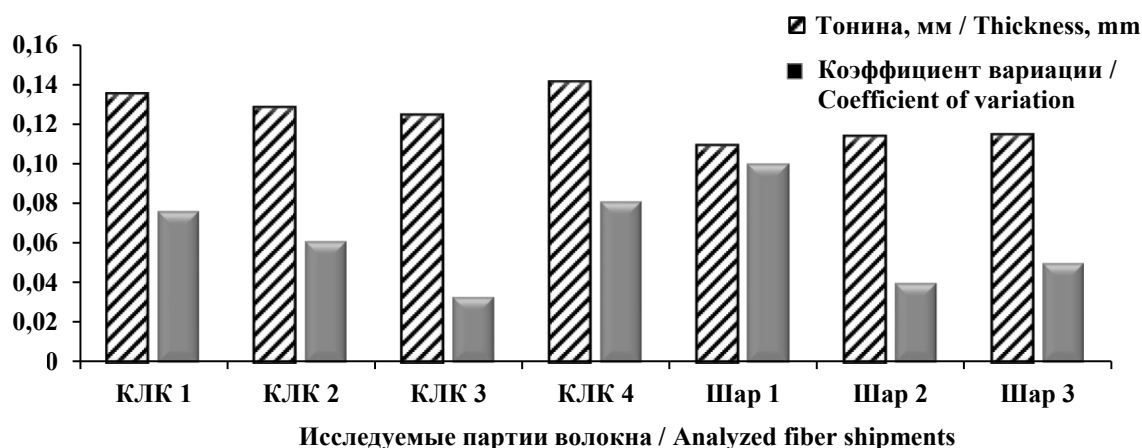


Рис. 2. Тонина и уровень её вариации у исходных партий МЛВ /

Fig. 2. Thickness and its variation for original shipments of MFF

Из полученных результатов следуют различия по показателю «делимость волокна» у исследуемых партий МЛВ. Установлено, что между исходной тониной волокна и показателем делимости существует положительная

корреляционная связь, подтвержденная статистически значимым (при $P = 95\%$) коэффициентом корреляции, равным 0,62. Из этого следует, что волокна с повышенными размерами сечения подвержены дроблению под действием механи-

ческих воздействий в большей степени, чем тонкие. Однако такая тенденция не обязательна. Так, например, сравнивая волокно партий КЛК2 и КЛК3, несмотря на сходство их исходной тонины (соответственно 0,129 и 0,124 мм), их делимость оказалась разной – 7,7 и 1,8 %. Это свидетельствует о том, что МЛВ второй партии

в процессе подготовки к прядению будут в большей степени подвержены укорочению и утонению, что важно для организации технологического процесса. Сходный вывод можно сделать применительно к МЛВ партий Шар2 и Шар3, у которых при равной исходной тонине волокон их делимость оказалась разной.

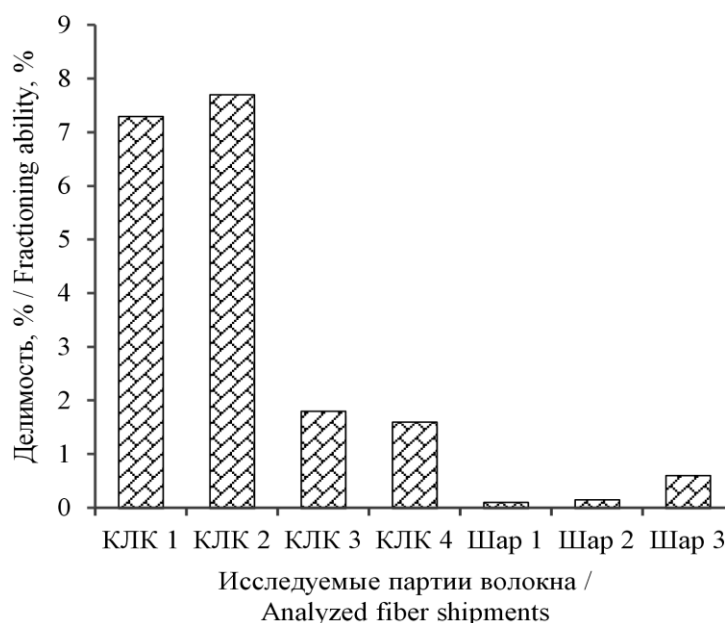


Рис. 3. Величина показателя «делимость волокна» у исследуемых партий МЛВ /

Fig. 3. Fractioning values of the analyzed fiber shipments of MFF

Выводы. 1. Существующие стандартные методы оценки показателей качества МЛВ требуют совершенствования в части определения характеристик технологической ценности для прогнозирования изменения структуры волокон при их переработке.

2. Установленное на практике уменьшение длины и тонины МЛВ на этапах его подготовки к прядению требует учета показателя, характеризующего степень изменения этих параметров по отношению к исходному состоянию волокон.

3. Предложенный метод оценки делимости МЛВ с применением стандартного показателя «тонина волокна» учитывает степень межволоконных связей, исходя из общепризнанных причин их формирования. Использование предложенного метода позволяет дифференцировать промышленные партии МЛВ по их делимости при воздействии на них сил равной интенсивности, возникающих посредством скользящего изгиба.

Список литературы

1. Плеханов А. Ф., Битус Е. И., Виноградова Н. А., Першукова С. А., Братченя Ю. В. Инновационные технологии нетканых материалов. Полимерные материалы. Изделия. Оборудование. Технологии. 2009;(2):30-34.
2. Раговина С. З., Прут Э. В., Берлин А. А. Композиционные материалы на основе синтетических полимеров, армированных волокнами природного происхождения. Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2019;61(4):291-315. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2308112019040084> EDN: CNONAV
3. Лаврентьева Е. П., Санина О. К., Белоусов Р. О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022;(3):130-139. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49341491> EDN: GLLRRJ
4. Живетин В. В., Рыжов А. И., Гинзбург Л. Н. Моволен (модифицированное волокно льна): монография. М.: РосЗИТЛП, ЦНИИЛКА, 2000. 205 с.
5. Пашин Е. Л., Смирнова Т. Ю., Разин С. Н. Совершенствование технологии механической модификации льна: монография. Кострома: Всероссийский НИИ по переработке лубяных культур, 2004. 140 с.
6. Дорофеев В. В., Разумеев К. Э., Захаров В. Н., Лаврентьева Е. П., Дьяченко В. В., Бубнов Г. Г., Семенов А. В. Применение мембранного варианта ударно-волновой модификации короткого льняного волокна в хлопчатобумажной промышленности. Швейная промышленность. 2014;(2):15-18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21800835> EDN: SJBTON
7. Науменко А. М., Рыклин Д. Б. Разработка технологии льнохлопковой пряжи пневмомеханического способа формирования. Вестник Витебского государственного технологического университета. 2015;(1(28)):86-94. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23601232> EDN: TWMCQX
8. Нестеренко Л. В., Чурсина Л. В., Кобельчук М. М. Расширение ассортимента смешанной пряжи с использованием модифицированного льняного волокна. РЖ: Лёгкая промышленность 12Б. 2004;(5):4.

9. Симонян В. О. Проблемы и перспективы развития рынка льняного котонина. Текстильная промышленность. 2006;(1-2):11-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9219251> EDN: HTTJLT
10. Кузьмина Т. О., Чурсина Л. А., Тихосова А. А. Качество и стандартизация модифицированных льняных волокон: монография. Херсон: Олди-Плюс, 2009. 416 с.
11. Ларин И. Ю. Исследование повреждаемости льняного котонина в процессах хлопкопрядения. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011;(2):32-33. Режим доступа: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2015/11/331_8.pdf
12. Лаврентьева Е. П. Переработка хлопкольняных смесей на хлопчатобумажном оборудовании. Текстильная промышленность. 1994;(2):16-19.
13. Васильев Р. А., Рыклин Д. Б. Исследование технологического процесса производства льняной пряжи с вложением регенерированного волокна. Вестник Витебского государственного технологического университета. 2012;(1(22)):25-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20505294> EDN: RGSQTN
14. Карев А. С., Чешкова А. В. Способ твердофазной ферментной котонизации низкосортного льняного волокна. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: мат-лы XI Междун. научн.-практ. семинара SMARTEX. Иваново: издание Ивановской государственной текстильной академии, 2008. С. 40-43.

References

1. Plekhanov A. F., Bitus E. I., Vinogradova N. A., Pershukova S. A., Bratchenya Yu. V. Innovative technologies of nonwovens. *Polimernye materialy. Izdeliya. Oborudovanie. Tekhnologii*. 2009;(2):30-34. (In Russ.).
2. Ragovina S. Z., Prut E. V., Berlin A. A. Composite materials based on synthetic polymers reinforced with natural fibers. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A = Polymer Science. Series A*. 2019;61(4):291-315. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S2308112019040084>
3. Lavrenteva E. P., Sanina O. K., Belousov R. O. The deep processing of bast fibers as the way to the revival of the national traditions of Russia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2022;(3):130-139. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49341491>
4. Zhivetin V. V., Ryzhov A. I., Ginzburg L. N. Movolen (modified flax fiber): monograph. Moscow: RosZITLP, TsNIILKA, 2000. 205 p.
5. Pashin E. L., Smirnova T. Yu., Razin S. N. Improving the technology of mechanical modification of flax: monograph. Kostroma: *Vserossiyskiy NII po pererabotke lubyanykh kul'tur*, 2004. 140 p.
6. Dorofeev V. V., Razumeev K. E., Zakharov V. N., Lavrenteva E. P., Dyachenko V. V., Bubnov G. G., Semenov A. V. Application of membrane options of shockwave modification short flax fiber in cotton industry. *Shveytnaya promyshlennost'*. 2014;(2):15-18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21800835>
7. Naumenko A. M., Ryklin D. B. Development of technology blended flax/cotton oespun yarn. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015;(1(28)):86-94. (In Belarus.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23601232>
8. Nesterenko L. V., Chursina L. V., Kobelchuk M. M. Expansion of the assortment of mixed yarn using modified flax fiber. *RZh: Legkaya promyshlennost' 12B*. 2004;(5):4. (In Russ.).
9. Simonyan V. O. Development of linen cottonin market problems and prospects. *Tekstil'naya promyshlennost'*. 2006;(1-2):11-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9219251>
10. Kuzmina T. O., Chursina L. A., Tikhosova A. A. Quality and standardization of modified flax fibers: monograph. Kherson: *Oldi-Plyus*, 2009. 416 p.
11. Larin I. Yu. Research of damageability of linen cottonized fibers while cotton spinning processes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2011;(2):32-33. (In Russ.). URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2015/11/331_8.pdf
12. Lavrenteva E. P. Processing of cotton blends by cotton equipment. *Tekstil'naya promyshlennost'*. 1994;(2):16-19. (In Russ.).
13. Vasilyev R. A., Ryklin D. B. Research of flax yarn technology with adjunction of regenerated fibers wastes. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012;(1(22)):25-33. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20505294>
14. Karev A. S., Cheshkova A. V. Method of solid-phase enzyme cottonization of low-grade flax fiber. Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials: Proceedings of the 11th International Scientific and practical seminar SMARTEX. Ivanovo: *izdanie Ivanovskoy gosudarstvennoy tekstil'noy akademii*, 2008. pp. 40-43.

Сведения об авторах

✉ Пашин Евгений Львович, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технические системы в АПК», ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Учебный городок, д. 34, пос. Караваяево, Костромской р-н, Костромская обл., Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5871-874X>, e-mail: evgpashin@yandex.ru

Орлов Александр Валерьевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО Костромской государственный университет, ул. Дзержинского, д. 17, г. Кострома, Костромская область, Российская Федерация, 156005, e-mail: info@ksu.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4995-3393>

Information about the authors

✉ Evgenij L. Pashin, DSc in Engineering, professor, professor at the Department of Technical Systems in Argo-Industrial Complex, Kostroma State Agricultural Academy, Uchebny Gorodok, 34, Karavaevo, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5871-874X>, e-mail: evgpashin@yandex.ru

Alexander V. Orlov, PhD in Engineering, associate professor at the Department of Information Systems and Technologies, Kostroma State University, Dzerzhinsky str., 17, Kostroma, Kostroma region, Russian Federation, 156005, e-mail: info@ksu.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4995-3393>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Применение высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии

© 2023. А. Ю. Шариков, М. В. Туршатов, М. В. Амелякина[✉],
А. О. Соловьев, И. М. Абрамова

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Российская Федерация

Химический состав и агротехнические характеристики топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) определяют широкие перспективы его использования в различных отраслях перерабатывающей промышленности, в том числе в пищевой биотехнологии. Целью исследования являлись изучение возможности применения продуктов переработки топинамбура, отобранных на различных стадиях спиртового производства, в нативной форме без дополнительной сушки в технологии экструдированных продуктов и оценка влияния этапа отбора сырья на режимы экструзии и показатели качества готового продукта. В процессе экспериментальной работы проводили переработку клубней топинамбура на спирт, с разных стадий процесса отбирали образцы высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, которые вносили в количестве 15 % без предварительной подсушки в смеси для экструдирования на основе рисовой крупы. Полученные экструдаты подсушивали и определяли их структурно-механические, цветовые характеристики и пищевую ценность. Контрольным являлся образец без внесения добавок топинамбура. Установлено, что при экструзии опытных образцов по сравнению с контролем показатели коэффициента взрыва и количества микроразломов значимо снижаются, что свидетельствуют о том, что с добавлением фракций топинамбура образцы становятся менее пористыми, снижается их хрупкость. Коэффициент взрыва всех экспериментальных образцов снизился на 42-49 %. Максимальная твердость 22,9 Н, что на 56 % выше значения контроля, отмечена для образца с фракцией, отобранной после стадии брожения. Использование пищевых добавок топинамбура со стадий гидромеханической переработки и после сбрызгивания, вносимых в количестве 15 % к экструдированной смеси, значимо, на 52-61 %, повышало содержание пищевых волокон. Более перспективным является использование в качестве ингредиента пищевой добавки топинамбура после полного цикла его переработки на спирт, что позволяет обогатить продукт микробиологическим белком биомассы спиртовых дрожжей и повысить общее содержание белка.

Ключевые слова: *Helianthus tuberosus* L., фермент, этанол, комплексная переработка, экструдат, пищевая ценность, структурно-механические свойства

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шариков А. Ю., Туршатов М. В., Амелякина М. В., Соловьев А. О., Абрамова И. М. Применение высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, в технологии пищевой экструзии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):612-622. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622>

Поступила: 30.01.2023

Принята к публикации: 02.08.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

The use of high humidity disperse fraction of jerusalem artichoke developed by its processing into alcohol in the food extrusion technology

© 2023. Anton Yu. Sharikov, Mikhail V. Turshatov, Maria V. Amelyakina[✉],
Alexander O. Solovyev, Irina M. Abramova

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

The chemical composition and agrotechnical characteristics of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) determine the wide prospects for its use in various branches of the processing industry, including food biotechnology. The aim of the study was to determine the possibility to use Jerusalem artichoke processed products from various stages of alcohol production in native form without drying in the technology of extruded products and to assess the impact of the raw material selection stage on extrusion modes and quality indicators of the finished product. In the course of the experimental work, Jerusalem artichoke tubers were processed into alcohol, samples of the high-moisture dispersed fraction of Jerusalem artichoke were taken from different stages of the process. These fractions were added in an amount of 15 % without pre-drying into the mixture for extrusion based on rice groats. The obtained extrudates were dried and their structural-mechanical, color characteristics and nutritional value were determined. The control sample was without the addition of Jerusalem artichoke additives. It has been established that during the

extrusion of test samples, compared with the control, the expansion index and the number of microfractures significantly decrease. These data show that with the addition of Jerusalem artichoke fractions, the samples become less porous, their crispness decreases. The expansion index of all experimental samples decreased by 42-49 %. The maximum hardness of 22.9 N, which is 56 % higher than the control value, was noted for a sample with a fraction taken after the fermentation stage. The use of food additives of Jerusalem artichoke from the stages of hydromechanical processing and after fermentation, added in the amount of 15 % to the mixture for extrusion, significantly, by 52-61 %, increased the content of dietary fiber. More promising is the use of Jerusalem artichoke as an ingredient after a full cycle of its processing into alcohol, which makes it possible to enrich the product with microbiological protein of alcohol yeast biomass and increase the total protein content.

Keywords: *Helianthus tuberosus* L., enzyme, ethanol, comprehensive processing, extrudate, nutritional value, structural and mechanical properties

Acknowledgements: the study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

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: Sharikov A. Yu., Turshatov M. V., Amelyakina M. V., Solovyev A. O., Abramova I. M. The use of high humidity disperse fraction of jerusalem artichoke developed by its processing into alcohol in the food extrusion technology. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):612-622. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.612-622>

Received: 30.01.2023 Accepted for publication: 02.08.2023 Published online: 30.08.2023

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) является сельскохозяйственной культурой, представляющей устойчивый интерес со стороны нутрициологов, разработчиков пищевой продукции и специалистов АПК вследствие ее химического состава, пищевой ценности и агротехнических характеристик [1, 2, 3]. Высокое содержание инулина, белка, биологических активных и минеральных веществ, антифунгистатические, антиканцерогенные и антиоксидантные компоненты определяют клубни топинамбура как перспективное сырье в производстве лечебного и профилактического питания, а также фармацевтической продукции [4, 5, 6, 7].

В пищевой промышленности отраслевые решения по применению топинамбура в технологии функциональных продуктов востребованы и достаточно разнообразны: в молочной промышленности [8, 9], хлебопекарной [10, 11], мясной [12], производстве безалкогольных напитков [13] и ингредиентов-заменителей жира [9]. Основным интерес в аспекте химического состава топинамбура и его функциональных свойств представляет инулин, фруктан – биополимер фруктозы, молекулы которой связаны β -2,1 гликозидными связями, при этом каждая цепь заканчивается молекулой D-глюкозы, соединенной с полифруктозной цепью α -2,1-связью. Инулин является пребиотиком с потенциалом стабилизации состава микробиоты кишечника, улучшения работы кишечника, повышения степени абсорбции минералов, снижения риска кишечных инфекций, рака толстой кишки, ожирения, сахарного диабета 2 типа, метаболического синдрома [14, 15].

Помимо широкого применения в качестве ингредиента в пищевой промышленности такие факторы, как высокая урожайность, содержание углеводов и выход целевого продукта, устойчивость к неблагоприятным природным условиям, почвам и вредителям делают топинамбур перспективным субстратом для биоконверсии с получением различных видов продуктов биокатализа или брожения. Биконверсия топинамбура позволяет получать фруктозные сиропы, фруктоолигосахариды, этанол, 2,3-бутандиол, сорбитол, молочную, масляную, пропионовую, янтарную, яблочную кислоты, продукты ацетонобутилового брожения [16, 17, 18]. Разрабатываемые технические решения по получению этилового спирта из топинамбура обеспечивают высокий выход этанола и конкурентоспособность корнеплода в качестве сырья по отношению к зерновым культурам [17, 19].

Актуальной задачей при разработке комплексных технологий спиртового производства является утилизация вторичных сырьевых ресурсов, образуемых в процессе переработки [20]. Имеются технологические решения по использованию послеспиртовой барды из топинамбура при приготовлении заквасок в производстве ржаного и ржано-пшеничного хлеба [21]. Альтернативным направлением использования послеспиртовой барды топинамбура может стать ее применение в качестве ингредиента при производстве готовых к употреблению продуктов, производимых по экструзионной технологии. Известны исследования по использованию пивной дробины в подобных продуктах в качестве недорогого компонента рецептуры с высокой пищевой ценностью и значительным содержа-

нием пищевых волокон [22]. Важность повышения содержания пищевых волокон в экструдированной продукции (сухих завтраках, снеках) обусловлена ее высоким гликемическим индексом, так как основу рецептуры составляют высокоочищенные продукты переработки зерновых [23]. Поэтому внедрение в технологии экструдированных продуктов недорогих ингредиентов с высоким содержанием пищевых волокон является перспективным направлением повышения пищевой ценности готовой продукции и расширения ее ассортимента.

Как правило, вторичные сырьевые ресурсы процессов биоконверсии перед использованием в технологиях продуктов питания высушиваются [21, 22, 24], что, с одной стороны, облегчает их использование, с другой стороны, увеличивает количество технологических этапов и повышает стоимость ингредиента.

Цель исследования – изучение возможности использования продуктов переработки топинамбура спиртового производства, отобранных на различных стадиях биоконверсии, в нативной форме без дополнительной сушки в технологии экструдированных продуктов.

Научная новизна – изучено влияние внесения в экструдруемые смеси высоковлажной дисперсной фракции топинамбура различной степени биоконверсии на показатели процесса экструзии и технологические свойства полученных продуктов. Проведена оценка изменения пищевой ценности экструдатов в зависимости от вида используемой в рецептуре дисперсной фракции топинамбура.

Материал и методы. Объектами исследований являлись экструдированные продукты, полученные из смесей рисовой крупы с добавлением высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, выделенной на разных стадиях переработки его на спирт.

Использовали крупу рисовую (ГОСТ 6292-93)¹, соль (ГОСТ Р 51574-2018)², карбонат кальция, соответствующий требованиям ТР ТС 029/2012³, клубни топинамбура сорта Интерес.

Биоконверсию топинамбура осуществляли с применением ферментных препаратов (ФП) различной субстратной специфичности, характеристики ФП представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики используемых ферментных препаратов / Table 1 – Characteristics of the enzyme preparations used

| Ферментный препарат / Enzyme preparation | Производитель / Manufacturer | Активность / Enzymatic activity | Температурный оптимум действия / Temperature optimum of the action | Рабочий диапазон pH / pH working range |
|--|---------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Viscoferm | Новозаймс, Дания / Novozymes, Denmark | 900 ед. КС/г | 30-80 °С | 4,5-6,5 |
| Novozym 960 | Novozymes, Denmark | 250 ед. INU/г | 55-60 °С | 4,0-6,0 |

Примечания: КС – ксиланазная способность; INU – каталитическая активность инулиназы / Notes: KC – xylanase activity; INU – catalytic activity of inulinase

Образцы дисперсной фракции топинамбура (ФТ) получали по схеме, представленной на рисунке 1. Очищенные и вымытые клубни топинамбура измельчали в шнековом измельчителе до однородной массы, далее полученную массу смешивали с водой, предварительно нагрев ее до 50 °С и добавив ФП Viscoferm в дозировке 0,25 ед. КС/г сухих веществ (СВ) для гидролиза некрахмалистых полисахаридов. Полученный замес подвергали гидромеханической обработке в лабораторном роторном диспергаторе (ИКА, Германия) в течение 10 минут. Гидролиз проводили при температуре 92 °С

в течение 3 часов с последующим осахариванием ФП Novozym 960 при 58 °С в течение 1 часа в дозировке 0,5 ед. INU/г инулинового сырья. Сусло сбраживали сухими спиртовыми дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* (Angel Yeast Co, Китай) при температуре 33-34 °С, в течение 72 часов. Выделение образцов выполняли центрифугированием на лабораторной центрифуге: ФТ №1 – на стадии гидроизмельчения топинамбура, ФТ № 2 – на стадии водно-тепловой и ферментативной обработки топинамбура, ФТ № 3 – после перегонки сброженного субстрата.

¹ГОСТ 6292-93. Крупа рисовая. Технические условия. М.: Стандаринформ, 2010. 8 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294823/4294823160.pdf>

²ГОСТ Р 51574-2018. Соль пищевая. Общие технические условия. М.: Стандаринформ, 2018. 11 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293737/4293737159.pdf>

³ТР ТС 029/2012. Технический регламент Таможенного союза. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. 2012. 308 с. URL: https://www.serconsrus.ru/tr_ts/trts29.pdf

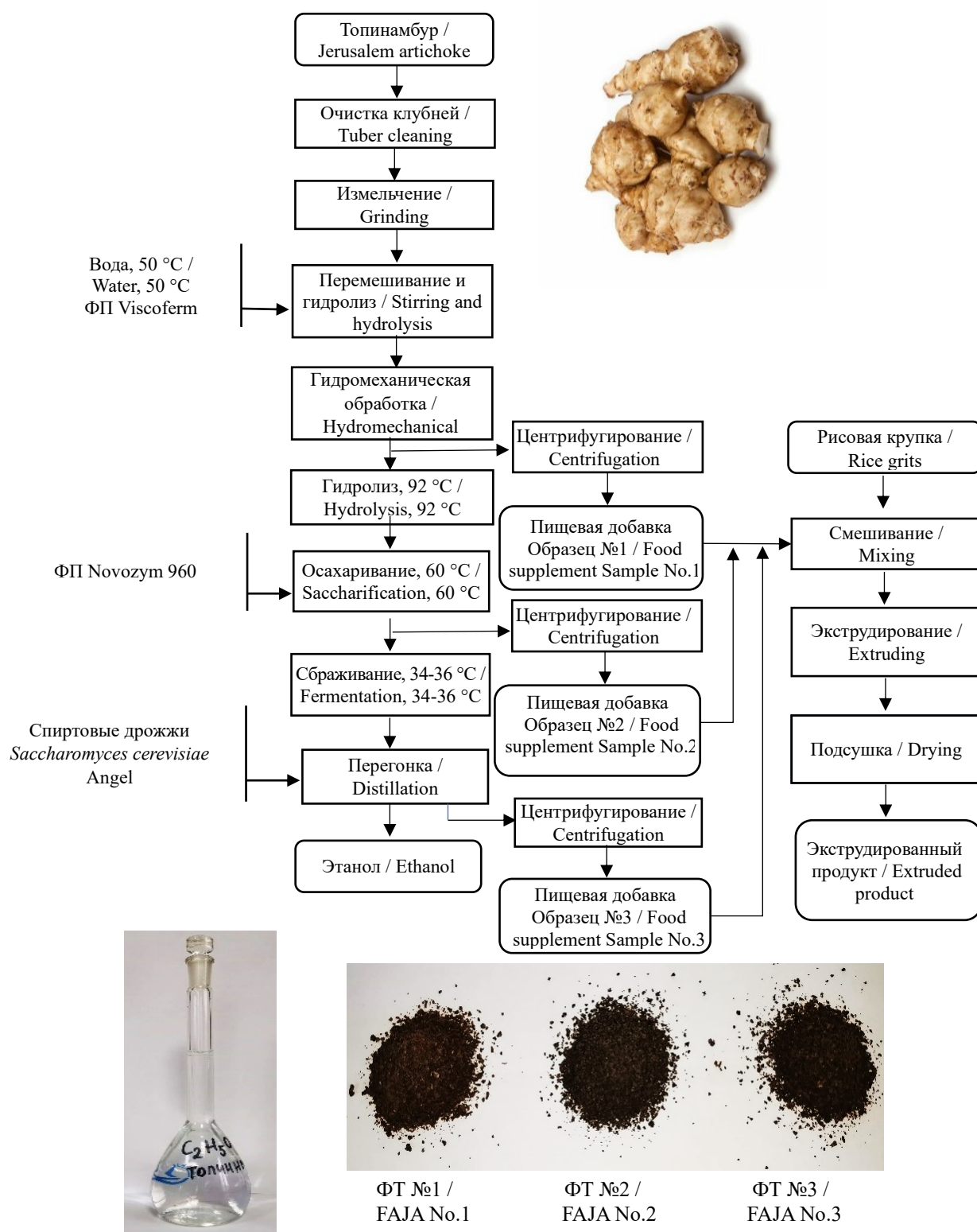


Рис. 1. Схема получения образцов пищевой добавки топинамбура /

Fig. 1. Process flow chart for obtaining samples of Jerusalem artichoke food additive

Содержание влаги в сырье и полученных образцах измеряли на анализаторе влажности ML-50 (A&D, Япония) термографическим

методом. Содержание белка определяли методом Кьельдаля с использованием системы Vadopest 10 (Gerhardt, Германия), жира –

экстракцией с последующим гравиметрическим определением разности массы навески до и после экстракции, пищевых волокон – ферментативно-гравиметрическим методом по ГОСТ Р 54014-2010⁴, золы – по ГОСТ 25555.4-91⁵.

Экспериментальные смеси, включающие 83,5 % рисовой крупы, 15 % высоковлажной дисперсной фракции топинамбура, 0,9 % стабилизатора карбоната кальция, 0,5 % соли, готовили в смесителе UMC 5 с ножевой мешалкой (Stephan, Германия). Контролем служила смесь без включения ФТ.

Смеси экструдировали с использованием двухшнекового экструдера Werner&Phleiderer Continua с диаметром шнека 37 мм, производительность которого составляла 10 кг/час. Для формования стренга экструдата была установлена фильера с двумя отверстиями прямоугольного сечения 12×1,5 мм. Расчет энергетической ценности проводили в соответствии с положениями Технического Регламента Таможенного Союза ТР ТС 022/2012⁶.

Коэффициент взрыва экструдатов рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильеры. Структурно-механические свойства экструдатов оценивали с использованием анализатора текстуры СТЗ (Brookfield, США) с металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм согласно скорректированной методике [22]. Оцениваемыми характеристиками продукта являлись показате-

ли твердости и количества микроразломов, характеризующего хрусткость продукта. Цветовые характеристики экструдата определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS-10 (CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) в системе CIELAB, в которой L* – характеристика светлоты, а* – коэффициент спектрального отражения в диапазоне от зеленого до красного, b* – коэффициент спектрального отражения в диапазоне от синего до желтого.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0 методом однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости 0,05.

Результаты и их обсуждение. В процессе экспериментальной работы проводили переработку клубней топинамбура в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1, отбирали образцы дисперсной фракции топинамбура, которые вносили без предварительной подсушки в смеси на основе рисовой крупы в количестве 15 %. Готовые смеси экструдировали, полученные продукты подсушивали и затем определяли их структурно-механические, цветовые характеристики и пищевую ценность.

В таблице 2 представлены данные по химическому составу пищевой добавки топинамбура, отобранной на различных стадиях биоконверсии.

Таблица 2 – Химический состав пищевой добавки топинамбура /
Table 2 – Chemical composition of food additive (FAJA) from Jerusalem artichoke

| Показатель / Parameter | Образец ФТ / FAJA | | |
|---|-------------------|-----------|------------|
| | №1 / No. 1 | №2 / No.2 | №3 / No. 3 |
| Содержание воды, % / Moisture, % | 81,6±0,9 | 80,3±0,9 | 85,5±1,1 |
| Общее содержание редуцирующих веществ, % масс. / The total content of reducing substances, % wt. | 3,9±0,05 | 4,2±0,04 | 0,1±0,02 |
| Сырой протеин, % масс. / Crude protein, % wt. | 0,8±0,04 | 0,8±0,03 | 2,6±0,06 |
| Содержание пищевых волокон, % масс. / The content of dietary fiber, % wt. | 11,1±0,1 | 11,8±0,07 | 9,9±0,1 |
| Содержание жира, % масс. / Fat content, % wt. | 0,1±0,01 | 0,1±0,01 | 0,2±0,01 |
| Энергетическая ценность, ккал / Energy value, kcal | 40 | 45 | 30 |

⁴ГОСТ Р 54014-2010. Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. М.: Стандаринформ, 2019. 11 с.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/50525/>

⁵ГОСТ 25555.4-91. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы. М.: Стандаринформ, 2011. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/105/10506.pdf>

⁶ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза. Пищевая продукция в части ее маркировки. 2011. 26 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320347>

По отличительным признакам все 3 вида пищевой добавки характеризуются высоким содержанием пищевых волокон (более 6 г/100 г), образец 3 отличается еще и высоким содержанием белка (более 20 % вклада в пищевую ценность).

Режимные параметры экструдирования смесей представлены в таблице 3. Значимых отличий по моменту сдвиговых деформаций, характеризующих воздействие сил трения на перерабатываемый материал, не отмечено.

Таблица 3 – Режимные параметры экструдирования смесей с добавлением продуктов переработки топинамбура

Table 3 – Regime parameters of extrusion of mixtures with the addition of processed Jerusalem artichoke products

| Наименование продукта / Product | Влажность смеси, % / Moisture of the mixture, % | Скорость вращения шнеков, мин ⁻¹ / Screw speed, min ⁻¹ | Температура, °C / Temperature, °C | Момент сдвиговых деформаций, % / Torque, % | Давление, МПа / Pressure, MPa |
|--|---|--|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| Контроль без ФТ / Control without FAJA | 21,0±0,5 | 230 | 158±3 | 38±2 | 1,5±0,17 |
| Образец с ФТ №1 / Mixture with FAJA No.1 | 22,6±0,7 | 230 | 160±2 | 38±1 | 1,1±0,1 |
| Образец с ФТ №2 / Mixture with FAJA No.2 | 21,5±0,5 | 230 | 160±1 | 36±2 | 1,0±0,1 |
| Образец с ФТ №3 / Mixture with FAJA No.3 | 22,1±0,4 | 230 | 160±1 | 42±3 | 1,3±0,17 |

Согласно данным эксперимента максимальное давление в камере экструдера соответствовало переработке контрольной смеси и составило 1,5 МПа. Добавление пищевой добавки снижало давление, но статистически значимое уменьшение отмечено только для образцов ФТ №1 и №2.

Образцы экструдатов с добавлением 15%-ной пищевой добавки, полученной в результате комплексной переработки топинамбура представлены на рисунке 2. По визуальной оценке внешнего вида видно, что внесение пищевой добавки значимо изменило структуру продукта, уплотнило ее.

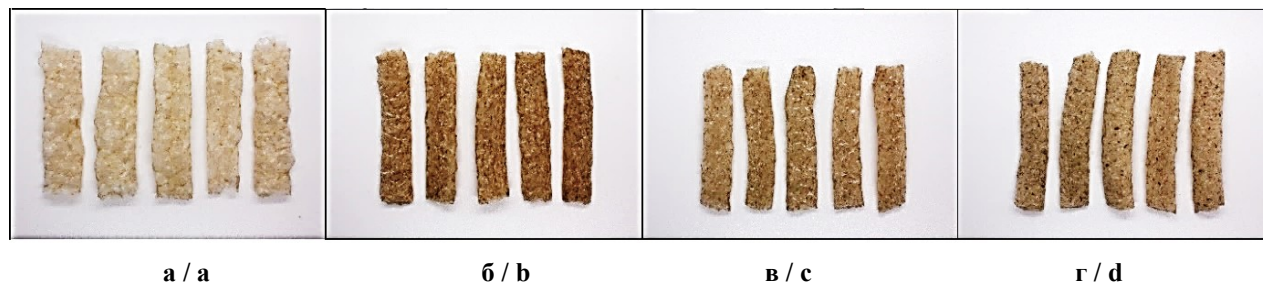


Рис. 2. Образцы экструдатов с добавлением ФТ: а – контроль без ФТ; б – ФТ №1; в – ФТ №2; г – ФТ №3 / Fig. 2. Extrudate samples with FAJA: a – control without FAJA; б – FAJA No.1; в – FAJA No.2; г – FAJA No. 3

Влияние внесения ФТ на структурно-механические свойства экструдатов представлено на рисунке 3. Установлено, что при экструзии опытных образцов по сравнению с контролем показатели коэффициента взрыва и количества микроразломов значимо уменьшались, что свидетельствуют о том, что с добавлением ФТ образцы становились менее пористыми, снижалась их хрупкость. Коэффициент взрыва с внесением всех образцов добавки снизился на 42-49 % – минимальное снижение с 9,8 до 5,7 отмечено для смеси с ФТ №3. Твердость образца

с ФТ №1, характеризующая максимальную нагрузку, имитирующую сжатие продукта между зубами, не имеет значимых различий с контролем. Статистически значимое минимальное значение твердости 11,8 Н соответствует экструдату ФТ №2, показатель твердости образца ФТ №3 практически в 2 раза больше – 22,9 Н. Таким образом, внесение добавки топинамбура, полученной на различных этапах его комплексной переработки на спирт, в экструдированную смесь оказывает разнонаправленное влияние на твердость экструдатов.

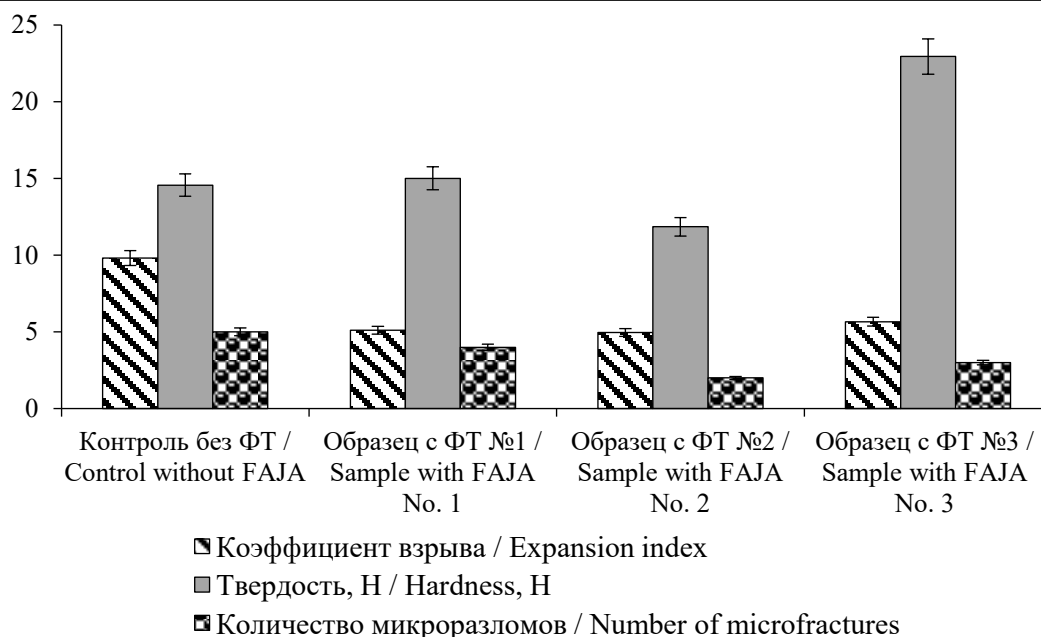


Рис. 3. Влияние типа пищевой добавки топинамбура на структурно-механические показатели экструдатов /

Fig. 3. Influence of the type of Jerusalem artichoke food additive on the structural and mechanical properties of extrudates

Данные по колориметрическим характеристикам образцов представлены в таблице 4. Внесение ФТ изменяет цветовые характеристики образцов: светлота «L» уменьшается, коэффи-

циент спектрального отражения по оси «a» переходит из области зеленого оттенка в область красного, «b» – в сторону желтого оттенка.

Таблица 4 – Цветовые характеристики экструдатов /
Table 4 – Color characteristics of extrudates

| № образца / Sample No. | L | a | b |
|---|----------|----------|---------|
| Контроль без ФТ / Control without FAJA | 58,1±1,1 | -1,7±0,3 | 2,0±0,3 |
| Образец с ФТ №1 / Sample with FAJA No.1 | 50,8±2,0 | 2,1±0,2 | 3,3±0,9 |
| Образец с ФТ №2 / Sample with FAJA No.2 | 53,4±1,9 | 0,9±0,3 | 3,9±0,6 |
| Образец с ФТ №3 / Sample with FAJA No.3 | 54,9±1,4 | 1,1±0,2 | 4,7±0,4 |

Оценка пищевой ценности полученных экструдированных продуктов, представленная в таблице 5, показывает значимое увеличение содержания пищевых волокон в экспериментальных образцах на 50-60 %, по содержанию жира различий не установлено. Минимальное содержание углеводов отмечено в образце с пищевой добавкой из топинамбура (№3), полученной после сбраживания и отгонки спирта. Для этого же образца характерно увеличение содержания белка в сравнении с контрольным и другими экспериментальными образцами, обусловленное его обогащением белком биомассы дрожжей, накопленной в процессе сбраживания суслы.

В литературе не представлено примеров утилизации клетчатки топинамбура после его переработки на спирт в продуктах экструзионной технологии. Известно исследование [25] по изучению процесса и продуктов экструзии гречневой крупы в смеси с высушенным порошком топинамбура, вносимом в смесь в количестве 30-80 %. Исследование показало, что топинамбур обладает большим потенциалом для включения в состав пищевых продуктов в качестве ингредиента с низким гликемическим индексом, улучшая пищевую ценность продуктов в целом. Результаты экспериментов показали, что увеличение дозировки высушенного топинамбура 0 до 80 % приводит к увеличению на 60 % общего содержания пищевых волокон

с 7,4 до 11,8 % при одновременном снижении содержания углеводов, липидов и белков. Образцы, содержащие 80 % топинамбура, относили к продуктам с низким гликемическим

индексом, а содержащие 30 и 60 % – со средним индексом. Гречневая крупа, используемая в качестве контроля, уже является ингредиентом с высоким содержанием пищевых волокон.

Таблица 5 – Пищевая ценность экструдированных продуктов /

Table 5 – Nutritional value of extruded products

| № образца / Sample No. | Белки / Protein | Жиры / Fat | Углеводы / Carbohydrates | Пищевые волокна / Dietary fibers | Энергетическая ценность, ккал/100 г / Energy value, kcal/100 g |
|--|--------------------|---------------|-----------------------------|--|---|
| | г/100 г / g/100 g | | | | |
| Контроль без ФТ / Control without FAJA | 7,3 | 1,04 | 76,8 | 3,1 | 360 |
| Образец с ФТ №1 / Sample with FAJA No.1 | 7,1 | 1,0 | 77,2 | 4,9 | 356 |
| Образец с ФТ №2 / Sample with FAJA No.2 | 7,0 | 1,0 | 76,1 | 5,0 | 351 |
| Образец с ФТ №3 / Sample with FAJA No.3 | 7,4 | 1,0 | 73,1 | 4,7 | 340 |

В нашем исследовании увеличение содержания пищевых волокон составило 52-61 %. Необходимо отметить повышение содержания белка до 7,4 г при переработке смеси с пищевой добавкой топинамбура, полученной после полного цикла переработки топинамбура на спирт, что подтверждает перспективность использования вторичных сырьевых ресурсов после процессов сбраживания углеводного сырья для повышения содержания белка в экструзионных продуктах и кормах [22, 26, 27].

Закключение. На основе проведенных исследований разработана экструзионная технология утилизации высоковлажных продуктов

переработки топинамбура с различных стадий его переработки. Использование пищевых добавок топинамбура как со стадии гидромеханической переработки, так и после сбраживания, вносимых в количестве 15 % к экструдированной смеси, значительно (на 52-61 %) повышает содержание пищевых волокон. Более перспективным является использование в качестве ингредиента пищевой добавки топинамбура после полного цикла его переработки на спирт, что позволяет обогатить продукт микробиологическим белком биомассы спиртовых дрожжей и повысить общее содержание белка.

Список литературы

- Музычук А. С., Лапин А. А., Пасько Н. М., Федосеева Г. П., Багаутдинова Р. И., Зеленков В. Н. Топинамбур – ценная культура. Картофель и овощи. 2008;(6):28-29.
- Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Лазунин Ю. Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2013;(4):22-25.
- Slimestad R., Seljaasen R., Meijer K., Skar S. L. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2010;90(6):956-964. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3903>
- Sawicka B., Skiba D., Pszczółkowski P., Aslan I., Sharifi-Rad J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. Cellular and molecular biology Noisy-le-Grand. 2020;66(4):160-177. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32583794/>
- Pan L., Sinden M. R., Kennedy A. H., Chai H., Watson L. E., Graham T. L., Kinghorn A. D. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke). Phytochemistry Letters. 2009;2(1):15-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2008.10.003>
- Ahmed M. S., El-Sakhawy F. S., Soliman S. N., Abou-Hussein D. M. R. Phytochemical and biological study of *Helianthus tuberosus* L. Egyptian Journal of Biomedical Sciences. 2005;(18):134-147.
- Кожухова М. А., Бархатова Т. В., Алтушнян М. К., Хрипко И. А., Рыльская Л. А. Разработка технологии продуктов функционального питания на основе топинамбура. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2005;(2-3(285-286)):21-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14981865> EDN: MPWBFT
- Ражина Е. В., Смирнова Е. С. Производство йогурта, обогащенного топинамбуром разных фракций. Молочнохозяйственный вестник. 2021;(3(43)):146-159. DOI: https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_3_146 EDN: UMEFOD

9. Penskza P., Sárosi R., Juhász R., Manninger-kóczán K., Szabó-Nótin B., Szakács L., Barta J. Jerusalem artichoke powder as a food additive in dairy products and fat replacers. *Acta Alimentaria*. 2013;42(1):53-62. DOI: <https://doi.org/10.1556/aalim.42.2013.suppl.7>
10. Пономарева М., Крикунова Л., Юдина Т. Хлеб функционального назначения с использованием жмыха топинамбура. *Хлебопродукты*. 2009;(10):44-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116947> EDN: MSUXMJ
11. Ozgoren E., Isik F., Yapar A. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;(13):2812-2821. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00201-9>
12. Устинова А. В., Дыдыкин А. С. Топинамбур и продукты его переработки в функциональных мясных продуктах. *Мясная индустрия*. 2012;(2):19-21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17691126> EDN: OXDNBF
13. Маликова А. В., Алтуньян М. К., Прудникова Т. Н., Некрасова М. В. Овощные ферментированные напитки на основе топинамбура. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2007;(5-6(300-301)):52-53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12138184> EDN: KFQCYH
14. Kolida S., Tuohy K., Gibson G. R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*. 2002;87(S2):193-197. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN/2002537>
15. Roberfroid M., Gibson G. R., Hoyle L., McCartney A. L., Rastall R., Rowland I., Wolvers D., Watzl B., Szajewska H., Stahl B., Guarner F., Respondek F., Whelan K., Coxam V., Davicco M.-J., Léotoing L., Wittrant Y., Delzenne N. M., Cani P. D., Neyrinck A. M., Meheust A. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*. 2010;104(S2):S1-S63. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510003363>
16. Qiu Y., Lei P., Zhang Y., Sha Yu., Zhan Yi., Xu Z., Li Sh., Xu H., Ouyang P. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. *Biotechnology Biofuels*. 2018;(11):151. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1152-6>
17. Bhagia S., Akinoshio H., Ferreira J. F., Ragauskas A. J. Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. *Biofuel Research Journal*. 2017;4(2):587-599. DOI: <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.2.4>
18. Li L., Li L., Wang Y., Du Y., Qin S. Biorefinery products from the inulin-containing crop Jerusalem artichoke. *Biotechnology Letters*. 2012;35:471-477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10529-012-1104-3>
19. Абрамова И. М., Туршатов М. В., Кривченко В. А., Соловьев А. О., Никитенко В. Д. Исследование биохимического состава топинамбура и получаемых на его основе этилового спирта и пищевых функциональных продуктов. *Биотехнология*. 2022;(38(4)):56-61. DOI: <https://doi.org/10.56304/S0234275822040020> EDN: DCDJRK
20. Аширова Ю., Цыганова Т. Технология ржаных полуфабрикатов с применением послеспиртовой барды из топинамбура. *Хлебопродукты*. 2009;(11):44-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116987> EDN: MSUYBT
21. Кривченко В. А., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Абрамова И. М. Спиртовое производство – технологическая основа комплексной переработки зерна с получением пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*. 2019;(4):53-54. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10027> EDN: GLMUSH
22. Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E., Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 2007;81(4):702-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
23. Brennan M. A., Derbyshire E. J., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
24. Дерканосова Н. М., Шеламова С. А., Василенко О. А., Пальникова С. С. Изучение потенциала продуктов переработки топинамбура как обогащающих пищевых ингредиентов. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2022;(1(18)):5-11. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2022_1_5 EDN: UDFQYT
25. Radovanovic A., Stojceska V., Plunkett A., Jancovic S., Milovanovic D., Cupara S. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*. 2015;177:81-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>
26. Stojceska V., Plunkett A., Ibanoglu S. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(3):469-479. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>
27. Chevanan N., Rosentrater K., Muthukumarappan K. Effect of DDGS, Moisture Content, and Screw Speed on Physical Properties of Extrudates in Single-Screw Extrusion. *Cereal Chemistry*. 2008;85(2):132-139. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0132>

References

1. Muzychuk A. S., Lapin A. A., Pasko N. M., Fedoseeva G. P., Ba-gautdinova R. I., Zelenkov V. N. Jerusalem artichoke is a valuable crop. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2008;(6):28-29. (In Russ.).
2. Starovoytov V. I., Starovoytova O. A., Zvyagintsev P. S., Lazunin Yu. T. Jerusalem artichokes - the culture of multipurpose use. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2013;(4):22-25. (In Russ.).
3. Slimestad R., Seljaasen R., Meijer K., Skar S. L. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010;90(6):956-964. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3903>
4. Sawicka B., Skiba D., Pszczółkowski P., Aslan I., Sharifi-Rad J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. *Cellular and molecular biology Noisy-le-Grand*. 2020;66(4):160-177. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32583794/>

5. Pan L., Sinden M. R., Kennedy A. H., Chai H., Watson L. E., Graham T. L., Kinghorn A. D. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke). *Phytochemistry Letters*. 2009;2(1):15-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2008.10.003>
6. Ahmed M. S., El-Sakhawy F. S., Soliman S. N., Abou-Hussein D. M. R. Phytochemical and biological study of *Helianthus tuberosus* L. *Egyptian Journal of Biomedical Sciences*. 2005;(18):134-147.
7. Kozhukhova M. A., Barkhatova T. V., Altunyan M. K., Khripko I. A., Rylskaya L. A. Development of technology for functional food products based on Jerusalem artichoke. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2005;(2-3(285-286)):21-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14981865>
8. Razhina E. V., Smirnova E. S. Production of yogurt enriched with topinambour (*helianthus tuberosus*) of different fractions. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2021;(3(43)):146-159. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52231/2225-4269_2021_3_146
9. Penksza P., Sárosi R., Juhász R., Manninger-kóczán K., Szabó-Nótin B., Szakács L., Barta J. Jerusalem artichoke powder as a food additive in dairy products and fat replacers. *Acta Alimentaria*. 2013;42(1):53-62. DOI: <https://doi.org/10.1556/aalim.42.2013.suppl.7>
10. Ponomareva M., Krikunova L., Yudina T. Functional bread with the use of Jerusalem artichoke cake. *Khlebo-produkty*. 2009;(10):44-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116947>
11. Ozgoren E., Isik F., Yapar A. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;(13):2812-2821. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00201-9>
12. Ustinova A. V., Dydykin A. S. Jerusalem artichoke and products of its processing in functional meat products. *Myasnaya industriya* = *Meat Industry Journal*. 2012;(2):19-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17691126>
13. Malikova A. V., Altunyan M. K., Prudnikova T. N., Nekrasova M. V. Vegetable fermented drinks based on Jerusalem artichoke. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2007;(5-6(300-301)):52-53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12138184>
14. Kolida S., Tuohy K., Gibson G. R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*. 2002;87(S2):193-197. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN/2002537>
15. Roberfroit M., Gibson G. R., Hoyle L., McCartney A. L., Rastall R., Rowland I., Wolvers D., Watzl B., Szajewska H., Stahl B., Guarner F., Respondek F., Whelan K., Coxam V., Davicco M.-J., Léotoing L., Wittrant Y., Delzenne N. M., Cani P. D., Neyrinck A. M., Meheust A. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*. 2010;104(S2):S1-S63. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510003363>
16. Qiu Y., Lei P., Zhang Y., Sha Yu., Zhan Yi., Xu Z., Li Sh., Xu H., Ouyang P. Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. *Biotechnology Biofuels*. 2018;(11):151. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1152-6>
17. Bhagia S., Akinoshio H., Ferreira J. F., Ragauskas A. J. Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. *Biofuel Research Journal*. 2017;4(2):587-599. DOI: <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.2.4>
18. Li L., Li L., Wang Y., Du Y., Qin S. Biorefinery products from the inulin-containing crop Jerusalem artichoke. *Biotechnology Letters*. 2012;35:471-477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10529-012-1104-3>
19. Abramova I. M., Turshatov M. V., Krivchenko V. A., Soloviev A. O., Nikitenko V. D. Study of the biochemical composition of Jerusalem artichoke, as well as ethyl alcohol and food functional products obtained on its basis. *Biotechnologiya* = *Biotechnology in Russia*. 2022;(38(4)):56-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.56304/S0234275822040020>
20. Ashirova Yu., Tsyganova T. Technology of semi-finished rye products with the use of post-alcohol stillage from Jerusalem artichoke. *Khlebo-produkty*. 2009;(11):44-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116987>
21. Krivchenko V. A., Turshatov M. V., Solov'yev A. O., Abramova I. M. Ethanol production is a technological basis of grain complex processing with foodstuff producing. *Pishchevaya promyshlennost'* = *Food Industry*. 2019;(4):53-54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10027>
22. Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E., Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 2007;81(4):702-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
23. Brennan M. A., Derbyshire E. J., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
24. Derkanosova N. M., Shelamova S. A., Vasilenko O. A., Pal'chikova S. S. Studying the potential of Jerusalem artichoke processing products as enriching food ingredients. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaystvennoy produkcii*. 2022;(1(18)):5-11. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2022_1_5
25. Radovanovic A., Stojceska V., Plunkett A., Jancovic S., Milovanovic D., Cupara S. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*. 2015;177:81-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>

26. Stojceska V., Plunkett A., Ibanoglu S. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(3):469-479.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>

27. Chevanan N., Rosentrater K., Muthukumarappan K. Effect of DDGS, Moisture Content, and Screw Speed on Physical Properties of Extrudates in Single-Screw Extrusion. *Cereal Chemistry*. 2008;85(2):132-139.

DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0132>

Сведения об авторах

Шариков Антон Юрьевич, кандидат техн. наук, зав. отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

Туршатов Михаил Владимирович, кандидат техн. наук, зав. отделом технологии спирта и комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

✉ **Амелякина Мария Валентиновна**, кандидат техн. наук, науч. сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: masha.am@mail.ru

Соловьев Александр Олегович, научный сотрудник отдела технологии спирта и комплексной переработки сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

Абрамова Ирина Михайловна, доктор техн. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

Information about the authors

Anton Yu. Sharikov, PhD in Engineering, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

Michail V. Turshatov, PhD in Engineering, Head of the Department of Alcohol Technology and Complex Processing of Raw Materials, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

✉ **Maria V. Amelyakina**, PhD in Engineering, researcher, the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: masha.am@mail.ru

Alexander O. Solovyev, researcher, the Department of Alcohol Technology and Complex Processing of Raw Materials, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

Irina M. Abramova, DSc in Engineering, Director, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635>

УДК 631.5:631.6:911.2

**Оценка пригодности заброшенных земель к возделыванию овса на основе прогнозирования его урожайности по данным долговременного мониторинга (на примере конкретного хозяйства)**© 2023. Д. А. Иванов[✉], Д. А. Соловьев, М. В. Рублюк, О. В. Карасева, Н. А. Хархардинов

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

В работе приведены результаты прогнозирования урожайности овса для условий заброшенных земель бывшего опытно-производственного хозяйства (ОПХ) Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель, находящегося в центре Тверской области. Для этого использовали данные долговременного (1997-2020 гг.) мониторинга урожайности этой культуры в чистых и покровных (с подсевом трав) посевах на агроэкологической трансекте агроэкополигона «Губино», расположенного в пределах ОПХ. С помощью статистико-математического моделирования выявлены закономерности формирования урожайности овса в пределах трансекты. На основе этих формул рассчитывали прогнозные урожайности овса для всей территории заброшенных земель, а также создавали карты ее изменчивости в условиях ОПХ и мероприятий по интенсификации производства зерна. Установлено, что овес в чистых посевах сильнее всего реагирует на содержание в почвах обменного калия, их водообеспеченность и гумусированность, тогда как в покровных посевах его урожай во многом зависит от содержания подвижного фосфора в почве, степени освещенности и заболоченности территории. Более 92 % площади ОПХ потенциально способны обеспечить урожайность овса в чистых посевах от 2,7 до 3,1 т/га, а повышенная (3,0-3,3 т/га) урожайность овса в покровных посевах может быть получена только на ≈ 44 % площади хозяйства. Основными приемами повышения урожайности овса в чистых посевах являются внесение калийных и органических удобрений, а также сохранение влаги в почвах, тогда как расширение площади покровных посевов предполагает использование сортов овса, слабо реагирующих на избыток фосфора в почве. Интенсификация производства овса в чистых посевах возможна на площади 6026 га, а в покровных – только на 790 га, так как на остальной территории хозяйства его продуктивность ограничивается недостаточной освещенностью и заболоченностью почв.

Ключевые слова: чистые посева, покровные посева, математико-статистическое моделирование, заброшенные земли

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (тема №0439-2022-0017).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов Д. А., Соловьев Д. А., Рублюк М. В., Карасева О. В., Хархардинов Н. А. Оценка пригодности заброшенных земель к возделыванию овса на основе прогнозирования его урожайности по данным долговременного мониторинга (на примере конкретного хозяйства). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):623-635. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635>

Поступила: 03.02.2023

Принята к публикации: 28.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Assessment of suitability of abandoned lands for oats cultivation based on the forecast of the yield according to long-term monitoring data (the case of a specific farm)© 2023. Dmitry A. Ivanov[✉], Dmitry A. Solovyov, Maria V. Rublyuk, Olga V. Karaseva, Nikita A. Kharhardinov

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

The paper presents the results of predicting the yield of oats in the conditions of abandoned lands of the former pilot production farm (PPF) of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, located in the center of the Tver region. There were used the data of long-term monitoring (1997-2020) of the yield of this crop in clean and cover crops (with undersowing of grasses) on the agroecological transect of the Gubino agroecopolygon located within the PPF. With the help of statistical and mathematical modeling, regularities in the formation of oat yields within the transect were revealed. On the basis

of these formulas, predicted oat yields were calculated for the entire territory of abandoned lands, and maps of its variability under the conditions of the protected area and measures for intensifying grain production were also created. It has been established that oats in pure crops react most strongly to the content of exchangeable potassium in soils, to water supply and humus content, while in cover crops the yield largely depends on mobile phosphorus in the soil and the degree of illumination and swampiness of the territory. More than 92 % of the PPF area is potentially capable of providing oat yield in clean crops from 2.7 to 3.1 centners/ha, and an increased oat yield (3.0-3.3 centners/ha) in cover crops can be obtained only on ≈ 44 % of the farm area. The main methods for increasing the yield of oats in pure crops are the application of potash and organic fertilizers, as well as the preservation of moisture in the soil, while expanding the area of cover crops involves the use of oat varieties that react poorly to excess phosphorus in the soil. Intensification of oat production in clean crops is possible on the area of 6026 ha, and in cover crops only 790 ha, since in the rest of the territory its productivity is limited by insufficient illumination and waterlogged soils.

Keywords: clean crops, cover crops, mathematical and statistical modeling, abandoned lands

Acknowledgments: the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0439-2022-0017).

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: Ivanov D. A., Solovyov D. A., Rublyuk M. V., Karaseva O. V., Kharhardinov N. A. Assessment of suitability of abandoned lands for oats cultivation based on the forecast of the yield according to long-term monitoring data (the case of a specific farm). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):623-635. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635>

Received: 03.02.2023

Accepted for publication: 28.07.2023

Published online: 30.08.2023

В России насчитывается около 15-17 млн га заброшенных сельскохозяйственных угодий, которые являются значительным резервом повышения продуктивности земледелия. Земли, в настоящее время не используемые в сельском хозяйстве, имеют различный производственный потенциал как в технологическом и конъюнктурном, так и агроэкологическом отношениях. На основе оценки этого потенциала возможно выделение категорий заброшенных земель по перспективности и очередности введения их в сельскохозяйственный оборот – можно сформировать фонды земель по группам: устойчиво эффективных, неустойчиво эффективных и неэффективных и разработать для них рекомендации по дальнейшему использованию [1].

Оценка агроэкологического потенциала земель основана на определении пригодности их к выращиванию конкретных культур, агро-технологического потенциала – по интенсивности и затратности технологий по оптимизации производственного процесса, конъюнктурного – по степени востребованности данной продукции на рынке. Одной из причин, затрудняющих оценку состояния заброшенных земель, является высокая стоимость экспедиционных работ, состоящих не только из анализа данных дистанционного зондирования Земли, но и полевых исследований.

Оценки агроэкологического и технологического потенциалов земель могут быть осуществлены на основе анализа мониторинговой информации, полученной на агроэкологических полигонах. В ходе статистической обработки

данных многолетнего мониторинга урожайности культуры можно выявить основные факторы, влияющие на ее производственный процесс в различных ландшафтных условиях, и создать математические модели, описывающие ее адаптивные реакции на изменчивость природной среды. На основе этих моделей и ГИС-технологий можно попытаться спрогнозировать «поведение» культуры (ее урожайность) в пределах заброшенного участка, расположенного в аналогичных с агроэкологическим полигоном ландшафтных условиях на базе имеющихся на него архивных данных. Анализ карт прогнозной урожайности выявит места с различными агроэкологическими и технологическими потенциалами, что позволит решить вопрос о перспективах их освоения. При адресном размещении угодий и севооборотов в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия можно добиться одновременного снижения себестоимости единицы продукции, а также уменьшения затрат на последующую рекультивацию ландшафта [2].

Данная работа авторов направлена на прогнозирование урожайности овса и выявление основных факторов, влияющих на производственный процесс культуры в условиях заброшенных земель конкретного хозяйства.

Овес – культура, занимающая пятое место в производстве зерна. Культура уникальна тем, что может произрастать практически в любых почвенно-климатических условиях РФ. Овес светолюбивое растение – условия короткого дня способствуют удлинению стебля и метелки,

увеличению числа зерен и общей массы растений, однако зерно не успевает вызреть и формируется щуплым (снижается зерновая активность). По данным З. И. Усановой, в условиях Верхневолжья урожай зерна овса наиболее сильно коррелирует с показателем фотосинтетической продуктивности посева ($r = 0,931$) [3].

Во все периоды роста и развития овес нуждается в оптимальной влагообеспеченности. Исследования Т. В. Долговой с соавт. показали, что продуктивность овса как в одно-видовых, так и совместных посевах в значительной степени зависела от влагообеспеченности почв [4]. Овес относительно устойчив к низким температурам, способен переносить кратковременные заморозки, особенно в начале вегетации. Условия года существенно влияют на характеристики содержания белка в зерне и другие его свойства, что определяется степенью экологической пластичности сортов овса [5, 6].

Однако, по данным Ю. М. Анкудовича, урожайность овса лишь на 38 % определяется тепло- и влагообеспеченностью периода вегетации и в значительной степени зависит от минерального питания [7]. Овес менее требователен, в отличие от пшеницы и ячменя, к почвенным условиям. Культура может произрастать на супесчаных, суглинистых, глинистых и торфяных почвах. Так, Ф. Цаналес с соавт. (F. Canales et al.) отмечает, что посевная площадь овса в Средиземноморье неуклонно увеличивается в течение последних 20 лет из-за его хорошей адаптации к широкому спектру почв [8, 9]. Широкий спектр ландшафтных условий, благоприятных для выращивания овса, позволяет культивировать его на огромных площадях Центра и Евро-Северо-Востока Нечерноземья [10].

Качество зерна и урожайность овса напрямую зависят от своевременного внесения органических удобрений под предшественник. Исследованиями А. И. Иванова с соавт. установлено, что почвенно-агрохимическая обстановка и стабильный почвенный водный режим имеют решающее значение в эффективности удобрений в агроландшафте. Уровень прироста урожайности от дифференцированного применения торфяно-навозного компоста (однократно в чистый пар) и минеральных удобрений, по отношению к равномерному внесению, для овса составил 3-8 %. Урожайность культуры снижалась по мере минерализации вносимых органических удобрений [11]. При выращивании на семена овес лучше располагать

по хорошим предшественникам и в начале севооборота [12, 13].

Овес широко используется в севооборотах в виде сложных посевов – под его покровом могут успешно развиваться различные кормовые культуры. В работе М. В. Рачкова с соавт. показано, что высокую и устойчивую продуктивность обеспечивает размещение покровных посевов овса на легкосуглинистых почвах зандрового ландшафта, где максимальный эффект имеет возделывание смесей с высокой долей вики. На связных почвах моренного ландшафта преимущественно обладают посевами с высокой долей злакового компонента [14]. В ходе наших исследований также выявлено, что на урожайность овса наибольшее влияние оказывает фактор подсева многолетних трав. Сила влияния особенностей ландшафтной обстановки на урожайность агроценозов овса значительно ниже, однако их также необходимо учитывать при адаптивном размещении посевов в пределах хозяйства [15]. Покровные посевы овса более устойчивы к действию вредной энтомофауны. По данным Хуан Жао с соавт. (Huan Zhao et al.), в сложных посевах наблюдается значительно более высокое отношение хищных насекомых к вредителям [16].

Прогнозирование урожайности посевов является важной задачей при освоении целинных и залежных земель. В нашей стране этому вопросу уделялось большое внимание в работах И. И. Карманова [17], Д. И. Шашко [18], М. К. Каюмова [19]. Они, как правило, опирались на экспериментальные данные, описывающие влияние отдельных факторов на продуктивность растений. Попытки моделирования продукционного процесса культур на основе комплексной экспериментальной и мониторинговой информации в настоящее время предпринимаются как за рубежом [20], так и в России [21, 22, 23].

Цель исследований – оценка пригодности заброшенных земель конкретного хозяйства для выращивания овса посевного в чистых и покровных посевах на основе анализа данных многолетнего мониторинга его урожайности на агроэкологическом полигоне.

Научная новизна – попытка обосновать возможности прогнозирования урожайности культур в пределах давно заброшенного хозяйства на основе только сохранившихся архивных данных (агрохимических картограмм, карты почв и рельефа) без привлечения средств на дополнительное обследование его территории.

В работе проведено выявление с помощью математического моделирования основных факторов, влияющих на продуктивность овса, выращиваемого в чистых и покровных посевах, в пределах агроландшафта конечно-моренной гряды; созданы с использованием ГИС-технологий и результатов математического моделирования прогнозные карты урожайности чистых и покровных посевов овса в пределах заброшенных земель бывшего опытно-производственного хозяйства (ОПХ) ВНИИМЗ; выполнена на основе ГИС-технологий разработка карт мероприятий по оптимизации продукционного процесса овса в чистых и покровных посевах на территории ОПХ.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели использовались данные многолетнего (1997-2020 гг.) мониторинга урожайности овса сорта Аргмак в чистых и покровных посевах на агрополигоне «Губино». Агрополигон расположен в 4 км к востоку от г. Тверь, на конечно-моренном холме с относительной высотой 15 м, состоящем из плоской слабодренлируемой вершины, северного пологого склона (крутизной 2-3°), южного склона (3-5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). Различия в экспозиции склонов определяют не только разницу в прогреве территории, но и неоднородность гранулометрического состава почв, что во многом обусловлено генезисом конечно-моренных образований. Почвенный покров агрополигона представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, образованных на двучленных отложениях – песчано-супесчаная толща в пределах почвенного профиля на разной глубине подстилается легко- и среднесуглинистой закамененной мореной. В южной части полигона мощность кроющего наноса местами превышает 1,5 м – почвы здесь преимущественно песчаные. На вершине и северном склоне холма пахотные горизонты сложены супесью и иногда легким суглинком, мощность кроющего наноса здесь колеблется около 1 м, а в межхолмной депрессии морена местами выходит на поверхность [24].

Исследования проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком массиве, пересекающем все микроландшафтные позиции (подурочища) конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные межхолмных депрессий, в почвах которых происходит аккумуляция элементов питания растений из намывных и грунтовых вод; транзитные центральных частей склонов,

в которых господствует латеральный ток влаги; элювиально-транзитные верхних частей склонов, где совместно с латеральным током влаги интенсивно протекает и вертикальное промывание почв; элювиально-аккумулятивное плоской вершины, в пределах которого на фоне вертикального промывания почвенного профиля спорадически в микропонижениях расположены места с аккумуляцией элементов питания растений.

Трансекта, в пределах которой развернута два пятипольных зернотравяных севооборота, состоит из десяти параллельных полос-полей, каждая из которых занята определенной культурой. По всей полосе антропогенное воздействие однотипно – проводится одновременная и одинаковая обработка почвы, соблюдаются единые нормы высева, даты и способы посева и проведения прочих мероприятий. Это позволяет изучать влияние ландшафтных условий на посевы культур в наименее искаженном виде.

Поля, на которых проводились наблюдения, имеют ширину 7,2 м, длину – 1300 м. Урожайность овса учитывали в 30 точках опробования, регулярно расположенных вдоль трансекты на расстоянии 40 м друг от друга в 4-кратной повторности методом прямого комбайнирования. Площадь учетной площадки – 20 м².

Чистые посевы овса выращивали на трансекте с 1997 по 2006 год в рамках следующего чередования культур: 1. Ячмень с подсевом трав. 2. Клеверотимофеечная травосмесь 1 г. п. 3. Клеверотимофеечная травосмесь 2 г. п. 4. Яровая пшеница. 5. Овес.

С 2007 по 2020 год на агрополигоне культивировались покровные посевы овса с многолетними травами (клевер красный ВИК 7, тимофеевка полевая ВИК 9), которые являлись начальной культурой зернотравяного севооборота: 1. Овес с подсевом трав. 2. Клеверотимофеечная травосмесь 1 г. п. 3. Клеверотимофеечная травосмесь 2 г. п. 4. Озимая рожь. 5. Яровая пшеница.

Под овес, при любом способе его выращивания, удобрения не вносили (экстенсивная технология), кроме подкормки в фазу «кущение» аммиачной селитрой в дозе 1 ц/га (N₃₀ д. в./га).

Для исключения влияния агроклиматического фактора на результаты исследований, из временного ряда наблюдений были выбраны года с активной температурой (выше 10°) ≈ 1900°, суммой осадков за вегетационный период ≈ 300 мм, гидротермическим коэффициентом по Селянинову ≈ 1,3-1,5. Для чистых посевов овса этими условиями характеризовались

годы – 1998, 2000, 2001, 2005 и 2006, для покровных посевов – 2012, 2015, 2016, 2017 и 2019.

Для построения математических моделей продуктивности овса использовали усредненные по годам и переведенные в балльную форму (1 балл – минимум, 30 баллов – максимум) данные по урожайности овса и другим параметрам почв и рельефа по каждому способу посева. Процедура перевода значений показателей в баллы обеспечивала более корректное сравнение урожайных данных по разным способам посева, а также стандартизацию переменных (выравнивание дисперсий), что увеличивало чувствительность метода. Однако в работе использовали и реальные значения параметров.

В работе исследовали влияние факторов рельефа (абсолютной высоты, крутизны и кривизны поверхности, интенсивности солнечной радиации), а также агрохимических свойств почв (гумус по Тюрину, $pH_{\text{сол}}$, подвижный фосфор по Кирсанову, обменный калий по Пейве) на продуктивность овса, т. к. только эти параметры известны для территории прогнозного хозяйства (ОПХ «Заветы Ленина» Калининского района Тверской области).

Прогнозное хозяйство, в пределах которого размещен агрополигон «Губино», в основном прекратило хозяйственную деятельность в конце 90-х годов и было юридически ликвидировано в 2006 году. Общая площадь хозяйства составляла 6312 га, сельхозугодий – 4923 га, из них пашни – 3394 га. На территории ОПХ расположены два генетически различных ландшафта:

1. Долинный, расположенный в северной части хозяйства, образованный древними и современными русловыми процессами, занимающий 29,2 % площади хозяйства. Рельеф его плоский, осложненный внутрипойменными останцами гравистых зандров, занятых сосновым бором. Почвообразующие породы – аллювиальные отложения различного возраста и гранулометрического состава. Доминантной местностью в нем является современная долина р. Волги, состоящая из сложного урочища первой надпойменной террасы и простых урочищ долин впадающих в нее мелких водотоков. Сложное урочище надпойменной террасы состоит в основном из элювиально-аккумулятивных и аккумулятивных геосистем. Элювиально-аккумулятивные ландшафты занимают прирусловую возвышенную часть террасы. В её пределах доминируют песчаные дерново-глееватые почвы. Она частично занята разнотравной растительностью, частично была

распахана. Аккумулятивные геокомплексы расположены у тылового шва террасы в местах выклинивания грунтовых вод. Они характеризуются широким распространением дерново-глеевых и торфянисто-глеевых легко- и средне-суглинистых почв, развивающихся на старичном аллювии. Субдоминантной местностью долинного ландшафта является древнеаллювиальная (зандровая) плоская равнина, сложенная слоистыми песками различной крупности, на разной глубине подстилаемыми карбонатной мореной. Она целиком образована одним сложным урочищем плоской равнины, доминантными подурочищами которой являются транзитно-аккумулятивные ландшафты, занимающие слабонаклонные поверхности. Для них характерны почвенные пятнистости, состоящие из дерново-подзолистых глеевых и глееватых песчаных и супесчаных почв. Аккумулятивные геокомплексы, располагающиеся в микропонижениях с дерново-глеевыми и торфянисто-глеевыми почвами, заняты заболоченными лугами.

2. Ландшафт моренно-ледниковой равнины, занимающий центральные и южные части хозяйства, образован флювиогляциальными процессами, происходившими при отступании Московского ледника. Он занимает 70,8 % площади ОПХ. Рельеф его волнисто-увалистый, с перепадами высот, достигающими 30 м. Почвообразующие породы – двучленные отложения различной мощности, образованные флювиогляциальными песками и супесями, подстилаемыми карбонатной мореной. Ландшафт образован одной местностью волнисто-увалистой равнины, которая, в свою очередь, состоит из сложных урочищ отдельных моренных холмов. Доминантными подурочищами данного ландшафта являются транзитные геокомплексы, занимающие около половины территории хозяйства, субдоминантными – транзитно-аккумулятивные микрокомплексы, занимающие значительно меньшие площади. Элювиальные и элювиально-аккумулятивные подурочища в сумме занимают менее 8 % территории ОПХ.

На основании архивных материалов ОПХ и института (материалы обследования Гипрозема и Гипроводхоза, агрохимической службы Тверской области, данных по опытным участкам ВНИИМЗ) были составлены цифровая модель рельефа (ЦМР) хозяйства, агрохимические картограммы, почвенные и ландшафтные карты. В пределах ОПХ выбраны 60 равномерно расположенных опорных точек, для каждой из которых определены все вышеуказанные параметры, переведенные в баллы (1...60).

Статистическая и графическая обработка данных мониторинга и прогноза проведена с помощью пакетов программ Stratigraphic+, Excel и геоинформационной системы ArcGIS 10. Степень влияния ландшафтных факторов на урожайность овса вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую¹.

Результаты и их обсуждения. Исследования реальных значений урожайности показало, что в условиях одной агроклиматической обстановки овес с подсевом трав достоверно продуктивнее чистых посевов овса. Так, усредненная по годам и точкам опробования урожайность чистого овса составила 26,2 ц/га, в покровных посевах нами получено 30,7 ц/га ($НСР_{0,05} = 1,15$ ц/га). Это можно объяснить оптимизацией водно-воздушного режима почв под овсом с подсевом трав. Пространственная вариабельность урожайности в покровных посевах несколько меньше ($V = 6,9\%$), чем в чистых ($V = 9,0\%$), что можно объяснить меньшими градиентами увлажнения почвы под покровной культурой.

Среднее, минимальное и максимальное значения агрохимических показателей по точкам опробования за годы наблюдений в пределах трансекты составило: $pH_{\text{сол}} - 5,52$ единиц (от 4,69 до 6,07), содержание гумуса 2,72 % (от 1,9 до 3,38), фосфора – 386 мг/кг (от 182 до 939), калия – 123 мг/кг (от 70,7 до 193). Почвы ОПХ на момент прекращения деятельности характеризовались следующими показателями: $pH_{\text{сол}} - 5,48$ (от 4,3 до 6,8), гумус – 1,83 % (от 0,7 до 4,0), фосфор – 149 мг/кг (от 37 до 305), калий – 90 мг/кг (от 8 до 241). Только по кислотности почв отсутствуют достоверные различия между трансектой и хозяйством. В почвах трансекты достоверно больше гумуса ($НСР_{05} = 0,27\%$), фосфора ($НСР_{05} = 60$ мг/кг) и калия ($НСР_{05} = 18,4$ мг/кг).

За годы исследований произошла некоторая трансформация агрохимических свойств почв в пределах агрополигона. Нами установлено заметное подкисление почв с 5,73 до 5,39 ед. ($НСР_{05} = 0,22$) и снижение содержания подвижного фосфора с 504 до 202 мг/кг ($НСР_{05} = 128$ мг/кг). Агрохимические свойства почв трансекты и хозяйства несколько сблизились – исчезли достоверные различия по фосфору. Агрофон почв хозяйства, вероятно, претерпевал подобные изменения, хотя и в меньшей степени, так как здесь не было отчуждения элементов питания с урожаем.

Несмотря на различие технологических схем и трансформацию агрохимических свойств почв, характер пространственной вариабельности урожаев имеет общие черты – коэффициент корреляции как между их реальными, так и балльными (в скобках) значениями достоверен и равен 0,51 (0,51) (при степени свободы 28 достоверны коэффициенты корреляции $\geq 0,32$). Это объясняется тем, что пространственная вариабельность агрохимических параметров за годы исследований изменилась незначительно. Так, коэффициенты корреляции между агрохимическими показателями почв, занятых чистыми и покровными посевами, составили: по pH 0,91 (0,92), фосфору 0,97 (0,90), калию 0,79 (0,75), гумусу 0,86 (0,89). Можно предположить, что трансформация агрофона ликвидированного хозяйства также не привела к существенным изменениям его пространственных характеристик. Это обстоятельство позволяет нам достаточно уверенно сравнивать регрессионные уравнения, описывающие характер продукционного процесса овса при разных способах посева.

Уравнения регрессии, описывающие влияние факторов природной среды на урожайность овса (Y) в различных посевах, выглядят следующим образом:

В чистых посевах –

$$Y = 8,52353 - 0,363735 * \text{Фосфор} + 0,853115 * \\ * \text{Калий} + 0,269358 * \text{Гумус} - 0,308643 * \\ * \text{Крутизна склона} \\ (R^2 = 67,7\%, p = 0,001). \quad (1)$$

В покровных посевах –

$$Y = 10,146 - 0,648522 * \text{Фосфор} + 0,576195 * \\ * \text{Высота местоположения} \\ (R^2 = 73,7\%, p = 0,001). \quad (2)$$

Анализ уравнений (1 и 2) показывает, что в зависимости от способа посева адаптивные реакции растений на природные условия существенно различаются. Овес в чистых посевах активно откликается на гумусированность почв и внесение калийных удобрений, а также наиболее продуктивен на плоских переувлажненных поверхностях. В покровных посевах овес лучше развивается на верхних хорошо освещённых гипсометрических отметках поверхности геоконтекста, где господствуют элювиальные процессы (удовлетворительная аэрация почв), однако, может быть угнетен на зафосфаченных почвах, что подтверждается и другими исследователями [25].

¹Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с. URL: <https://bookree.org/reader?file=580114&pg=3>

На основе уравнений (1 и 2) в среде Excel были составлены формулы, по которым рассчитывали прогнозную урожайность овса в баллах для условий каждой опорной точки на территории ОПХ (рис. 1). Для интерпретации данных моделирования применялся метод интерполяции – сделано допущение, что амплитуда урожайности в пределах ОПХ не превышает таковую на трансекте, то есть цена балла на трансекте в два раза больше, чем на территории ОПХ.

На картах, созданных с помощью ArcGIS 10, видно, что большая часть площади ОПХ (79,3 %, 5005 га) пригодна для выращивания овса в чистых посевах с урожайностью от 20 до 40 бал-

лов (25-27 ц/га), на 13 % площади хозяйства (821 га) можно получать урожаи от 27 до 31 ц/га. Ареал со средней урожайностью составляет фон карты, по которому достаточно равномерно рассыпаны пятна с потенциально высокой продуктивностью овса (рис. 1А). В случае возделывания овса в покровных посевах достаточно благоприятный прогноз (20-40 баллов, или 30-32 ц/га) по его урожайности был получен для 42,4 % (2676 га) площади хозяйства. На небольших участках (1,3 %, 82 га) можно получать урожаи до 33,6 ц/га. Более половины площади хозяйства не годятся для получения высоких урожаев этой культуры.

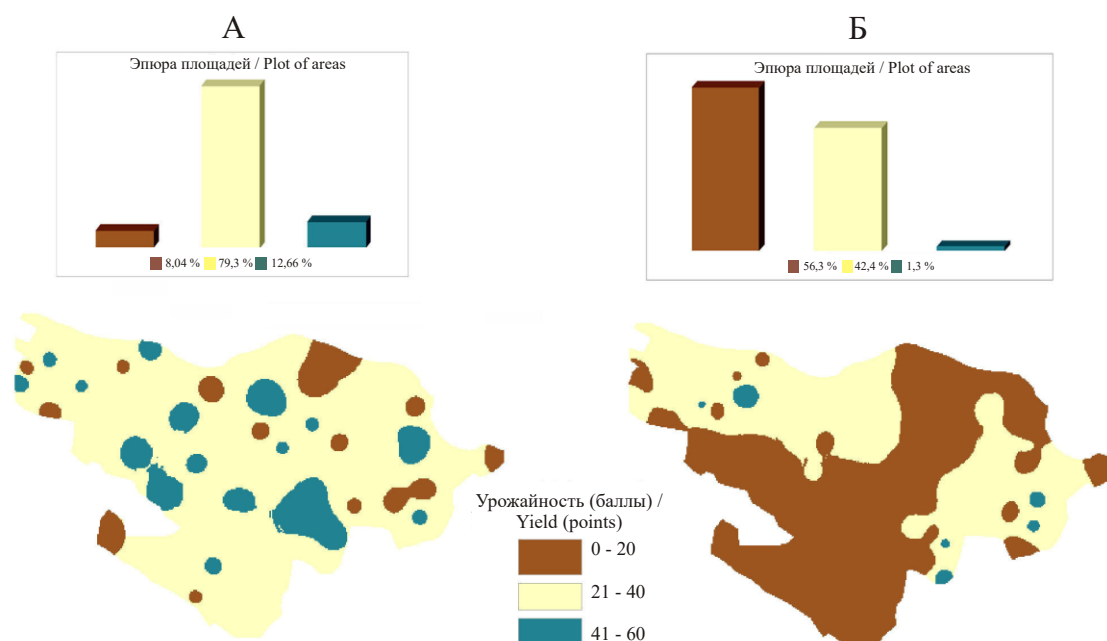


Рис. 1. Прогнозная урожайность овса в чистых (А) и покровных (Б) посевах в пределах ОПХ «Заветы Ленина» /

Fig. 1. Forecast yield of oats in clean (A) and cover (B) crops within the limits of the PPF «Zavety Lenina»

Использование в работе номинальных площадей (рассчитывающихся от общей площади хозяйства) объясняется отсутствием карты землеустройства (что объяснимо в данных обстоятельствах), а также необходимостью создания новой системы землеустройства на современных основах при проектировании адаптивно-ландшафтной системы земледелия нового хозяйства. Номинальные площади дают представление о потенциальных возможностях выращивания данной культуры, реальные площади будут определены при вычитании из номинальных площадей доли селитебных, инфраструктурных и прочих несельскохозяйственных объектов.

В отличие от чистых посевов, карта урожайности овса с подсевом трав в некоторой степени ландшафтообусловлена – ареалы с повышенной урожайностью тяготеют к зонам взаимодействия долинного и крупнохолмистого ландшафтов, характеризующихся относительно большой абсолютной высотой и оптимальным содержанием фосфора в почвах. Пространства на севере, в центре или на юге хозяйства не обладают оптимальным для этой культуры набором природных свойств – в их пределах либо проявляется недостаток освещенности и заболоченность почв (центр и север хозяйства), либо наблюдается избыток фосфора в почвах вследствие близкого залегания карбонатной морены, обогащенной фосфором [26] (южные части хозяйства) (рис. 2А).

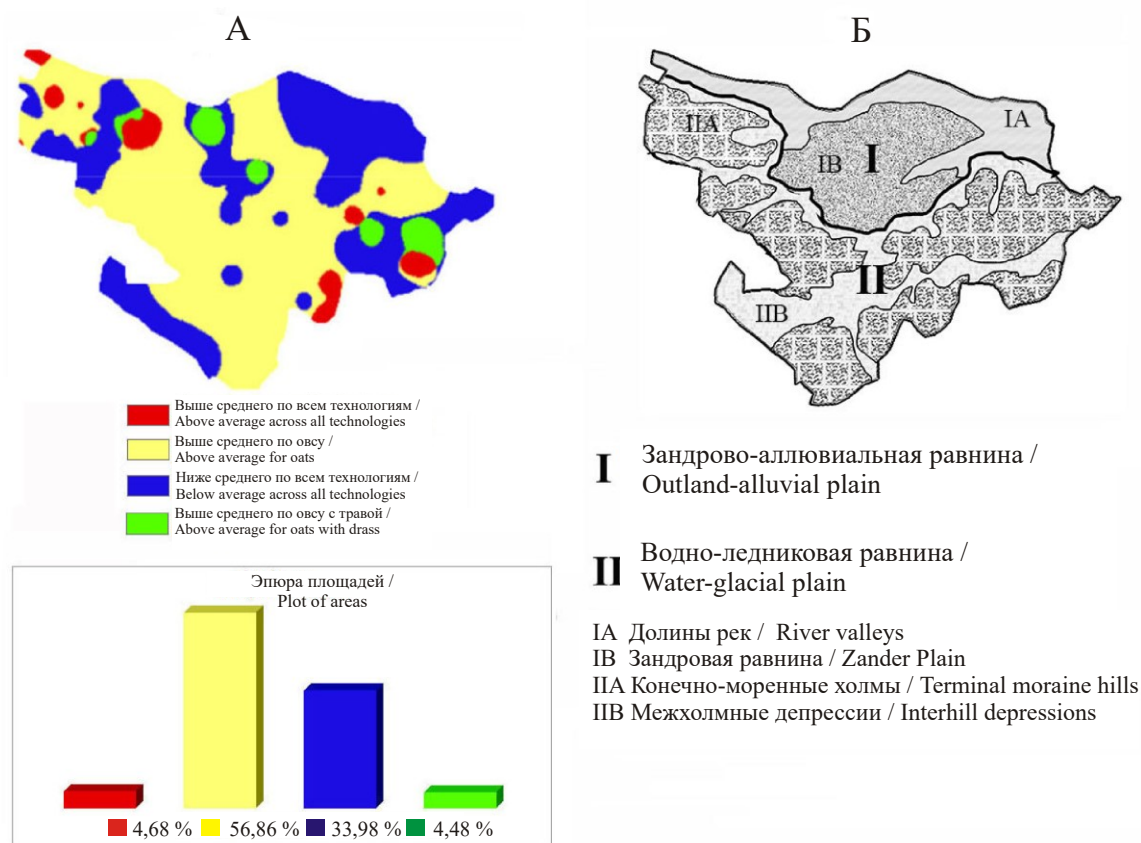


Рис. 2. Ареалы применимости способов выращивания овса в пределах хозяйства (А) и общий вид ландшафтного устройства ОПХ «Заветы Ленина» (Б) /

Fig. 2. Areas of applicability of ways for growing oats within the farm (A) and a general view of the landscape structure of the Pilot Production Farm «Zavety Lenina» (B)

Процедура наложения карт позволила получить схему ареалов применимости разных способов возделывания овса в пределах ОПХ (рис. 2А). Высокие урожаи овса (>30 баллов), независимо от способа его возделывания, можно получить в нескольких пятнах с суммарной площадью около 295 га. На площади 2145 га выращивание овса нецелесообразно, вследствие его пониженной продуктивности по всем способам возделывания (<30 баллов). На площади 3589 га предпочтение следует отдать чистым посевам овса, в то время как площадь земель, где лучше развиваются его покровные посевы, составляет 283 га.

На основании анализа рисунка 2Б, можно сказать, что ареалы максимальной урожайности по всем способам, а также с преимуществом покровных посевов привязаны к экотонной полосе перехода водно-ледниковой равнины в зандрово-аллювиальную. Пространства с минимальными урожаями по всем способам возделывания в основном тяготеют к долинным геокомплексам либо к межхолмным депрессиям

крупнохолмистого ландшафта. Фоновый ареал, благоприятный для выращивания чистых посевов овса, равномерно расположен по всей территории хозяйства.

Дисперсионный анализ результатов регрессии (ANOVA Table) показал, что максимальное воздействие на урожайность овса в чистых посевах (54 %) оказывает содержания калия в почвах, заметно влияют на нее влагообеспеченность посевов, выраженная через крутизну склонов (9 %) и гумусированность почв (4 %), в то время как содержание фосфора в почве не имеет существенного значения. Исходя из этого, были рассчитаны нелинейные уравнения парной регрессии, позволяющие определить оптимальные значения этих параметров, а с помощью ГИС-системы были выделены ареалы их расположения на карте. Наложение нескольких карт оптимальных значений параметров позволяет выявить пространственное расположение мероприятий по интенсификации-оптимизации производственного процесса культуры. Так, для увеличения производства

зерна в чистых посевах овса необходимо на площади 3205 га, расположенной в основном в пределах крупнохолмистого ландшафта, вносить органические удобрения. В пределах долинного ландшафта на площади 2301 га положительное воздействие окажет совместное внесение органики и калийных удобрений.

Суммарная площадь пятен, нуждающаяся в противоэрозионных (влагонакопительных) мероприятиях и внесении органики равна 258 га. Также следует сказать, что на территории площадью 286 га применение мероприятий по оптимизации продукционного процесса чистых посевов овса нецелесообразно (рис. 3А).

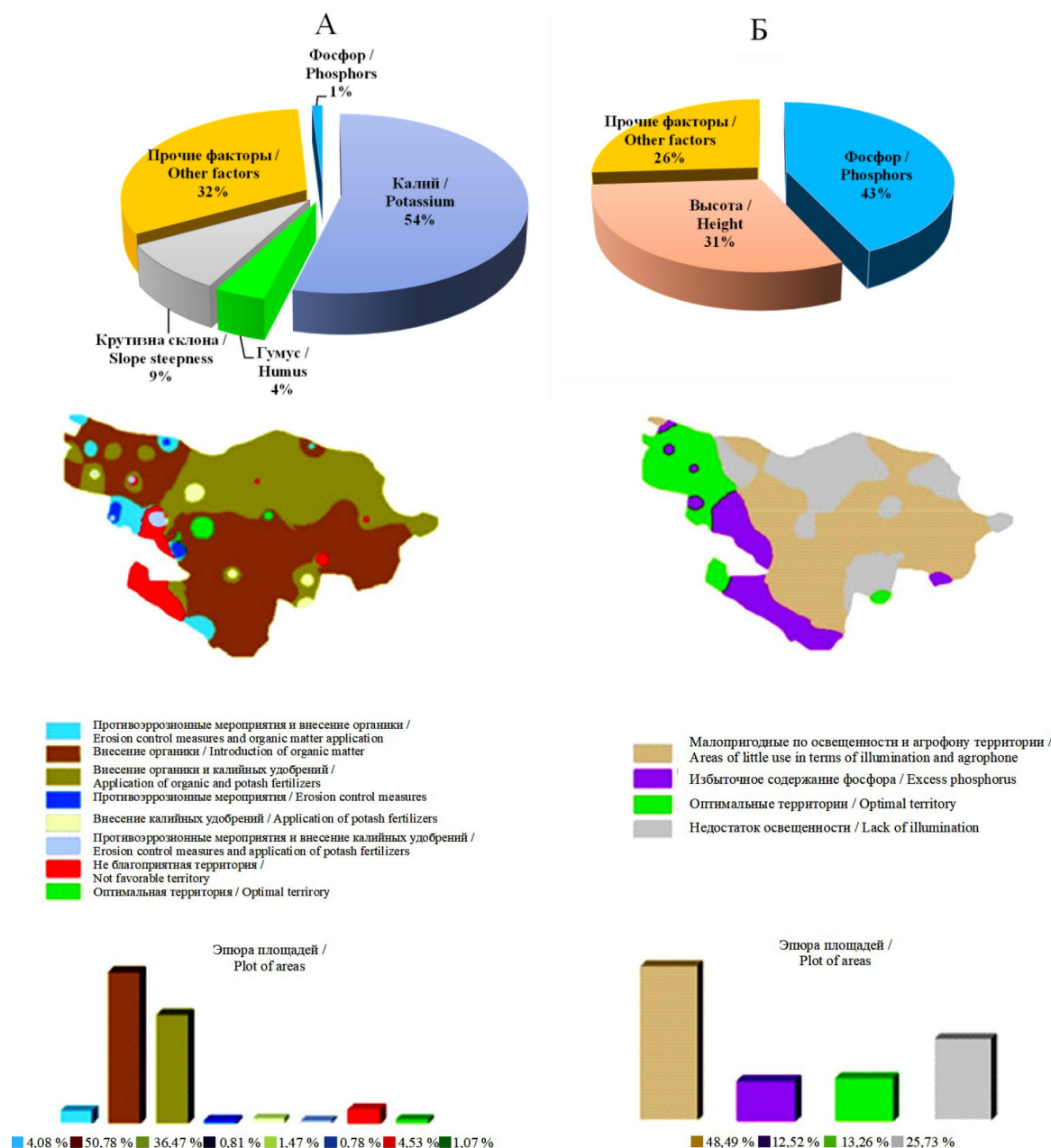


Рис. 3. Ареалы мероприятий по оптимизации продукционного процесса чистых (А) и покровных (Б) посевов овса в пределах прогнозного хозяйства /

Fig. 3. Areas of measures to optimize the production process of clean (A) and cover (B) oat crops within the forecast farm

В отличие от чистых посевов, на урожайность покровного овса в наибольшей степени влияет содержание фосфора в почве (43 %), избыточное содержание которого угнетает

посевы. В значительной степени (31 %) на него влияет степень освещенности и заболоченности почв, выраженная через абсолютную высоту. Более четверти территории хозяйства имеет

благоприятные условия для выращивания покровных посевов овса, однако на площади 790 га для значительного увеличения урожайности необходимо культивировать сорта овса, устойчивые к зафосфаченности почв (рис. 3Б).

Следует отметить, что ареалы на картах, изображенных на рисунках 1-3 не всегда совпадают. Это объясняется двумя причинами: во-первых, ареалы карт (рис. 3) создавались на основе парных уравнений, а не полиномов, которые учитывают характер взаимодействия факторов, а во-вторых, условия хозяйства далеки от оптимальных для этой культуры. Как правило, на территории хозяйства преобладают места, где возможно значительное повышение урожаев, однако есть локусы с высокой урожайностью, которую лимитируют малорегулируемые факторы (слабая освещенность и избыток влаги).

Заключение. Анализ данных многолетнего мониторинга является инструментом определения характера адаптивных реакций растений на ландшафтные условия в различных агротехнологических режимах. Значительный временной диапазон мониторинговых наблюдений на полигоне позволяет выбрать массивы лет, однотипных в агроклиматическом отношении и проводить сравнения между ними, тем самым получая информацию, на которую не влияют погодные условия.

Исследования показали, что адаптивные реакции овса на изменчивость ландшафтно-почвенных условий в значительной степени зависят от способа его выращивания. Овес в чистых посевах сильнее всего реагирует на содержание в почвах обменного калия, их водообеспеченность и гумусированность, тогда как в покровных посевах его урожай выше и во многом зависит от содержания фосфора в почве, степени освещенности посевов и заболоченности почв. Различия адаптивных реакций культуры при разных способах выращивания обуславливают особенности пространственного размещения их посевов. На основе математико-статистического анализа отобранной информации и глубокой обработки ее в ГИС-средах

можно зонировать территорию заброшенных земель по характеру их пригодности к выращиванию культур и способам оптимизации их продукционного процесса.

Разработанные модели показали, что практически на всей территории прогнозного хозяйства возможно получение урожаев овса в экстенсивном режиме около 20 ц/га независимо от способа посева, однако, более 92 % номинальной (без учета селитебной, лесной и инфраструктурной территорий) площади ОПХ потенциально способны обеспечить урожайность овса в чистых посевах от 27 до 31 ц/га, а повышенная (30-33 ц/га) урожайность овса в покровных посевах может быть получена только на ≈ 44 % площади хозяйства.

Основными приемами повышения урожайности овса в чистых посевах являются внесение калийных и органических удобрений, а также сохранение влаги в почвах, тогда как расширение площади покровных посевов предполагает использование сортов овса, слабо реагирующих на избыток фосфора в почвах. Интенсификация производства овса в чистых посевах потенциально возможна на площади 6026 га, а в покровных посевах только 790 га, на остальной территории его продуктивность ограничивается недостаточной освещенностью и заболоченностью почв. Следовательно, несмотря на то что урожайность покровного овса выше, возможность оптимизации его продукционного процесса при культивации чистых посевов больше.

Применение прогнозной информации, полученной на основе данных мониторинга, позволит землепользователю, используя архивные данные, описывающие состояние агроландшафтов заброшенных земель на момент прекращения их эксплуатации, получить прогнозные данные по урожайности культур и способам ее увеличения, что даст ему возможность более осознанно определять схему использования земли в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия.

Список литературы

1. Щерба В. Н., Долматова О. Н. Оценка состояния и перспективы развития системы землепользования южной лесостепи Омской области. Московский экономический журнал. 2022;7(5):107-122. Режим доступа: <https://qje.su/wp-content/uploads/2022/06/SHHerba-Dolmatova.pdf> EDN: DRDGAD
2. Иванов Д. А., Ковалев Н. Г. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (прикладная агрогеография): монография. Тверь: Кондратьев А. Н., 2017. 310 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009621352>
3. Усанова З. И., Васильев А. С. Теория и практика создания высокопродуктивных посевов овса посевного в условиях Центрального Нечерноземья. Тверь: Тверская ГСХА, 2014. 325 с.

4. Долгова Т. В., Надежина Н. В., Чухнин Ю. А. Влияние ландшафтных условий на эффективность возделывания гороха полевого и овса. Плодородие. 2012;(1(64)):21-22.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17416464> EDN: ORDFZZ
5. Trifuntova I. B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020:547(1):012041.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/547/1/012041>
6. Сорокина А. В., Комарова Г. Н. Влияние климатических факторов на развитие и формирование хозяйственно ценных признаков овса. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014;(6):55-61.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22805010> EDN: TFBCFR
7. Анкудович Ю. Н. Влияние климатических и агрохимических факторов на урожайность овса в условиях севера Томской области. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015;(5):40-47.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24790821> EDN: UWMYDD
8. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Gallego-Sánchez L. M., Flores F., Risipail N., Prats E. Deciphering Main Climate and Edaphic Components Driving Oat Adaptation to Mediterranean Environments. Frontiers in Plant Science. 2021;12:780562. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.780562>
9. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Bekele W. A., Howarth C., Langdon T., Risipail N., Tinker N. A., Prats E. Population genomics of mediterranean oat (*A. sativa*) reveals high genetic diversity and three loci for heading date. Theoretical and Applied Genetics. 2021;134:2063-2077. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03805-2>
10. Иванов Д. А., Рубцова Н. Е. Адаптивные реакции сельскохозяйственных растений на ландшафтные условия Нечерноземья. Киров: ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2007. 356 с.
11. Ivanov A., Ivanova Z. Efficiency of Precision Fertilization System in Grain-Grass Crop Rotation. Agriculture. 2022;12(9):1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091381>
12. Мансапова А. И., Пыко Т. Ю., Берендеева Л. О. Возделывание новых сортов овса в условиях подтайги Омской области. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2020. 24 с.
13. Мансапова А. И., Берендеева Л. О. Продуктивность полевых севооборотов в условиях равнинных ландшафтов подтайги Западной Сибири. Земледелие. 2018;(1):16-19.
14. Рачков М. В., Надежина Н. В., Чухнин Ю. А. Совместное возделывание вики и овса на зернофураж в различных ландшафтах. Плодородие. 2010;(3(54)):20-21.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14866461> EDN: MNIKBP
15. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Влияние компонентов ландшафта на продуктивность культур. Плодородие. 2021;(4(121)):39-43. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.12> EDN: IYVWDT
16. Zhao H., Li J., Guo L., Wang K. Crop Diversity at the Landscape Level Affects the Composition and Structure of the Vegetation-Dwelling Arthropod Communities in Naked Oat (*Avena Chinensis*) Fields. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(1):30. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010030>
17. Карманов И. И., Булгаков Д. С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М.: ГНУ Почвенный ин-т им В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2012. 119 с.
18. Пашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 336 с.
19. Каюмов М. К. Программирование урожая сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1989. 317 с.
20. Coleman K., Muhammed S. E., Milne A. E., Todman L. C., Dailey A. G., Glendinning M. J., Whitmore A. P. The landscape model: A model for exploring trade-offs between agricultural production and the environment. Science of the Total Environment. 2017;609:1483-1499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.193>
21. Иванов Д. А. Мониторинг как научная основа современного кормопроизводства. Биосфера. 2022;14(3):151-155. DOI: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i3.688> EDN: PJBDYA
22. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В., Анциферова О. Н. Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):221-229. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229> EDN: FYQZIJ
23. Иванов Д. А. Влияние почв и рельефа на продуктивность разновозрастных травостоев. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(4(382)):73-76. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-73-76> EDN: WQYYGX
24. Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Салихов Р. А., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Рублюк М. В. Создание ландшафтного полигона нового поколения. Земледелие. 1999;(6):15-16.
25. Бурлакова Л. М., Кудрявцев А. Е., Совриков А. Б. Влияние содержания в почве подвижных элементов питания на урожайность овса в Уймонской долине Республики Алтай. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003;(2):32-35. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18025629> EDN: PELVIF
26. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Рыбина Н. В. Геохимия фосфора. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 512 с.

References

1. Shcherba V. N., Dolmatova O. N. Assessment of the state and prospects of development of the land use system of the southern forest-steppe of the Omsk region. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* = Moscow journal. 2022;7(5):107-122. (In Russ.). URL: <https://qje.su/wp-content/uploads/2022/06/SHHerba-Dolmatova.pdf>
2. Ivanov D. A., Kovalev N. G. Landscape-reclamation systems of agriculture (applied agrogeography): monograph. Tver': *Kondrat'ev A. N.*, 2017. 310 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009621352>
3. Usanova Z. I., Vasilyev A. S. Theory and practice of creating highly productive oat crops in the conditions of the Central Non-Chernozem region. Tver: *Tverskaya GSKhA*, 2014. 325 p.
4. Dolgova T. V., Nadezhina N. V., Chukhnin Yu. A. Effect of landscape conditions on the cultivation efficiency of field pea and oat. *Plodorodie*. 2012;(1(64)):21-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17416464>
5. Trifuntova I. B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020:547(1):012041. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/547/1/012041>
6. Sorokina A. V., Komarova G. N. Effect of climatic factors on development and formation of economic characters in oats. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2014;(6):55-61. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22805010>
7. Ankudovich Yu. N. Effect of climatic and agrochemical factors on oats productivity under conditions of the north of Omsk region. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2015;(5):40-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24790821>
8. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Gallego-Sánchez L. M., Flores F., Rispail N., Prats E. Deciphering Main Climate and Edaphic Components Driving Oat Adaptation to Mediterranean Environments. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:780562. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.780562>
9. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Bekele W. A., Howarth C., Langdon T., Rispail N., Tinker N. A., Prats E. Population genomics of mediterranean oat (*A. sativa*) reveals high genetic diversity and three loci for heading date. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134:2063-2077. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03805-2>
10. Ivanov D. A., Rubtsova N. E. Adaptive reactions of agricultural plants to landscape conditions of the Non-Chernozem region. Kirov: *GNU Zonal'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva Severo-Vostoka imeni N. V. Rudnitskogo*, 2007. 356 p.
11. Ivanov A., Ivanova Z. Efficiency of Precision Fertilization System in Grain-Grass Crop Rotation. *Agriculture*. 2022;12(9):1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091381>
12. Mansapova A. I., Pyko T. Yu., Berendeeva L. O. Cultivation of new varieties of oats in the conditions of the subtaiga of the Omsk region. Omsk: *Izd-vo IP Maksheevoy E. A.*, 2020. 24 p.
13. Mansapova A. I., Berendeeva L. O. Productivity of field crop rotations under conditions of plain landscapes of the sub-taiga of Western Siberia. *Zemledelie*. 2018;(1):16-19. (In Russ.).
14. Rachkov M. V., Nadezhina N. V., Chukhnin Yu. A. Combined growing of vetch and oat for fodder grain in different landscapes. *Plodorodie*. 2010;(3(54)):20-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14866461>
15. Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V. To the question of the influence of landscape components on the productivity of crops. *Plodorodie*. 2021;(4(121)):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.12>
16. Zhao H., Li J., Guo L., Wang K. Crop Diversity at the Landscape Level Affects the Composition and Structure of the Vegetation-Dwelling Arthropod Communities in Naked Oat (*Avena Chinensis*) Fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(1):30. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010030>
17. Karmanov I. I., Bulgakov D. S. Methodology of soil-agroclimatic assessment of arable land for land register. Moscow: *GNU Pochvennyy in-t im V. V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii*, 2012. 119 p.
18. Shashko D. I. Agro-climatic zoning of the USSR. Moscow: *Kolos*, 1967. 336 p.
19. Kayumov M. K. Programming of crop yields. Moscow: *Agropromizdat*, 1989. 317 p.
20. Coleman K., Muhammed S. E., Milne A. E., Todman L. C., Dailey A. G., Glendining M. J., Whitmore A. P. The landscape model: A model for exploring trade-offs between agricultural production and the environment. *Science of the Total Environment*. 2017;609:1483-1499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.193>
21. Ivanov D. A. Monitoring as a scientific basis for modern fodder production. *Biosfera*. 2022;14(3):151-155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i3.688>
22. Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V., Antsiferova O. N. Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):221-229. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>
23. Ivanov D. A. Influence of soils and relief on productivity of various herbs. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(4(382)):73-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-73-76>
24. Ivanov D. A., Korneeva E. M., Salikhov R. A., Petrova L. I., Pugacheva L. V., Rublyuk M. V. Creation of a new generation landscape polygon. *Zemledelie*. 1999;(6):15-16. (In Russ.).

25. Burlakova L. M., Kudryavtsev A. E., Sovrikov A. B. The effect of the content of mobile nutrients in the soil on the yield of oats in the Uymon valley of the Altai Republic. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2003;(2):32-35. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18025629>

26. Yudovich Ya. E., Ketris M. P., Rybina N. V. Geochemistry of phosphorus. Syktyvkar: *IG Komi NTs UrO RAN*, 2020. 512 p.

Сведения об авторах

✉ **Иванов Дмитрий Анатольевич**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>

Соловьев Дмитрий Андреевич, кандидат с.-х. наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Рублюк Мария Владимировна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

Карасева Ольга Васильевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Хархардинов Никита Александрович, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4084-4991>

Information about authors

✉ **Dmitry A. Ivanov**, DSc in Agricultural Science, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, professor, chief researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>

Dmitry A. Solovyov, PhD in Agricultural Science, Director of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Maria V. Rublyuk, PhD in Agricultural Science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

Olga V. Karaseva, PhD in Agricultural Science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Nikita A. Kharhardinov, junior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4084-4991>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья

© 2023. А. А. Артемьев✉, А. М. Гурьянов

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

В условиях лесостепи Среднего Поволжья (Республика Мордовия) выполнены исследования по изучению влияния разных технологий применения минеральных удобрений (с учетом и без учета внутрипочвенной вариативности показателей плодородия почвы) в посевах ярового ячменя сорта Зазерский 85. Эксперимент проводили в 2012 и 2018 гг. в двух полях зернопропашного севооборота на черноземе выщелоченном (гумус в слое 0–25 см – 5,3–6,9 %, нитратный и аммонийный азот 6,1–16,8 мг/кг почвы, подвижный фосфор – 83–182 мг/кг и обменный калий – 90–196 мг/кг почвы). Схема опыта: контроль (без удобрений); усредненная доза удобрений ($N_{70}P_{34}K_{26}$ – в 2012 г., $N_{72}P_{36}K_{25}$ – в 2018 г.); дифференцированная доза ($N_{53-80}P_{24-43}K_{17-34}$ – в 2012 г. и $N_{56-80}P_{25-42}K_{20-27}$ – в 2018 г.). Дозы удобрений рассчитаны на плановую урожайность ячменя 3,0 т/га. Эксперимент проводили по принципу расщепленной делянки, в котором делянки 1-го порядка служили вариантами для удобрений, а делянки 2-го порядка (по 5 в каждом повторении) – для выявления внутриполевой неоднородности плодородия почвы и внесения удобрений. В среднем по двум полям севооборота наибольшая урожайность ячменя (3,14 т/га) получена в варианте с дифференцированным применением удобрений, что достоверно на 72 % выше контроля и на 13 % варианта с усредненными дозами. Внесение удобрений с учетом неоднородности элементов питания в почве обеспечило наименьший размах варьирования урожайности (0,8 т/га) по делянкам полигона при незначительном уровне коэффициента вариации ($V = 9,8$ %). Использование удобрений при возделывании ячменя статистически значимо повлияло на увеличение массы 1000 зерен, высоту растений, коэффициент продуктивной кустистости и длину колоса. Дифференцированные дозы удобрений по сравнению с усредненными привели к заметному повышению значений продуктивной кустистости растений (на 8,3 %) и длины колоса (на 3,9 %). Технология применения минеральных удобрений с учетом внутрипочвенной вариативности показателей плодородия почвы отличалась наибольшим уровнем рентабельности производства зерна ярового ячменя (47,6 %) по сравнению с традиционной (26,2 %) и экономией удобрений (на 7,5–8,5 %).

Ключевые слова: урожайность, дифференцированные дозы, усредненные дозы, коэффициент вариации, эффективность.

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, 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., Гурьянов А. М. Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24 (4):636–645. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.636-645>

Поступила: 28.03.2023

Принята к публикации: 28.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region

© 2023. Andrey A. Artemjev✉, Alexander M. Guryanov

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

In the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region (Republic of Mordovia) there was carried out the research on studying the effect of various technologies for the use of mineral fertilizers, with and without taking into account the intra-soil variability of soil fertility indicators in crops of spring barley of the Zazersky 85 variety. The experiment was carried out in 2012 and 2018 in two fields of grain-row crop rotation on leached chernozem (humus in the 0–25 cm layer – 5.3–6.9 %, nitrate and ammonium nitrogen 6.1–16.8 mg/kg of soil, mobile phosphorus 83–182 mg/kg of soil and exchangeable potassium 90–196 mg/kg of soil). The scheme of the experiment: control (without fertilizers); average dose of fertilizers ($N_{70}P_{34}K_{26}$ – in 2012, $N_{72}P_{36}K_{25}$ – in 2018); differentiated dose ($N_{53-80}P_{24-43}K_{17-34}$ in 2012 and $N_{56-80}P_{25-42}K_{20-27}$ in 2018). Fertilizer doses are calculated for the planned barley yield of 3.0 t/ha. The experiment was based on the principle of a split plot, where plots of the 1st order were reserved for variants with fertilizers, and plots of the 2nd order (5 plots in each repetition) were used to determine the variability of intra-soil fertility and fertilizer application. On average, for two fields of crop rotation, the highest barley yield (3.14 t/ha) was obtained in the variant with differentiated use of fertilizers, which was significantly 72 % higher than the control and 13 % higher than the variant with average doses. The application of fertilizers taking into account the heterogeneity of nutrients in the soil provided the smallest range of variation in yield (0.8 t/ha) across the plots of the polygon

with an insignificant level of variation coefficient ($V = 9.8\%$). The use of fertilizers in the cultivation of barley had a statistically significant effect on the increase in the weight of 1000 grains, plant height, productive tillering coefficient and ear length. Differentiated doses of fertilizers compared with the averaged doses led to a noticeable increase in the values of productive bushiness of plants (by 8.3 %) and spike length (by 3.9 %). The technology of applying mineral fertilizers, taking into account the intra-soil variability of soil fertility indicators, was distinguished by the highest level of profitability in the production of spring barley grain (47.6 %) compared to traditional (26.2 %) and fertilizer savings (by 7.5-8.5 %).

Keywords: yield, differentiated doses, average doses, the coefficient of variation, 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 citations: Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):636-645. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.636-645>

Received: 28.03.2023

Accepted for publication: 28.07.2023

Published online: 30.08.2023

Оптимизация минерального питания растений в современном земледелии является обязательным приемом в повышении продуктивности агроценозов. Однако рационализация внесения удобрений не всегда приводит к ожидаемому росту урожайности возделываемых в севообороте культур. В большинстве случаев главная причина низкой эффективности агрохимикатов и их окупаемости кроется в «безадресном» их применении, не учитывающем пространственно-временные неоднородности агрохимических свойств почвы [1, 2]. И как следствие – растения имеют разные условия произрастания [3]. Одним из путей решения указанной проблемы выступает дифференцированное использование средств химизации в комплексе с географическими информационными системами [4, 5, 6]. Такой подход позволит со временем нивелировать пестроту почвенного плодородия [7], адаптировать к нему агротехнологии и повысить их экономическую эффективность [8, 9, 10]. Одновременно с этим требуется корректировка нормативной базы применения удобрений для оптимизации их доз [11, 12, 13]. Поэтому возникает необходимость в проведении научных экспериментов по оценке отзывчивости растений на их использование в условиях разной степени окультуренности почвы [14, 15, 16]. В связи с этим на опытном поле Мордовского НИИСХ проводятся исследования по разработке научных основ дифференцированного применения средств химизации в системе точного земледелия, обеспечивающих стабильную урожайность культур полевого севооборота, повышение эффективности удобрений и сохранение плодородия почвы [17, 18].

Цель исследования – определить эффективность разных технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Научная новизна исследований состояла в научном обосновании дифференцированных доз минеральных удобрений в посевах ярового ячменя, рассчитанных на основе внутривидовой неоднородности плодородия почвы в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Материал и методы. Эффективность разных технологий применения минеральных удобрений в посевах ярового ячменя сорта Зазерский 85 изучали в 2012 и 2018 гг. в условиях лесостепи Среднего Поволжья на опытном поле Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Изыскания проводили в двух полях зернопарового севооборота (чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница – суданская трава – яровой ячмень), прошедшего две ротации во времени. Почва опытного участка (полигона) – чернозем выщелоченный среднелугосный среднемогучий тяжелосуглинистый.

Выполнение эксперимента с дифференцированным внесением удобрений обязательно требует учитывать варьирование элементов питания каждой делянки варианта. Данное условие в принципе отличает его от традиционного, которое пренебрегает неоднородностью плодородия почвы в пределах опытного участка, повторений, опытной делянки. Поэтому для проведения исследований был подобран земельный участок с генетически однородной почвой, но разным уровнем агрохимических показателей, что достигалось использованием части земельного массива с ранее завершенным длительным полевым опытом с удобрениями.

Диапазон значений агрохимических показателей почвы опытного участка в слое 0-25 см представлен в среднем по двум полям севооборота: гумус – 5,3-6,9 %, сумма нитратного и аммонийного азота 6,1-16,8 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора – 83-182 мг/кг и обменного калия – 90-196 мг/кг почвы. Плоскость полигона ровная, без какого-либо уклона.

Опытный полигон состоял из 45 элементарных участков (делянок), площадью каждый – 220,7 м² (37,4 × 5,9). Их размер скорректирован с учетом ширины захвата сельскохозяйственных орудий. Общий размер опыта – 1 га. Повторность опыта трехкратная. Каждый из трех вариантов опыта включал по 15 делянок, они же были и повторениями. Эксперимент выполнен на основе принципа расщепленной делянки, где делянки 1-го порядка закладывали под один из трех вариантов опыта, а делянки 2-го (по пять делянок в каждом повторении) – для определения неоднородности плодородия почвы и применения минеральных удобрений. Схема опыта включала:

1. Контроль (без удобрений).

2. Применение минеральных удобрений по традиционной технологии (усредненные дозы азота, фосфора и калия, рассчитанные на плановую урожайность ячменя 3,0 т/га на основе средневзвешенных агрохимических показателей почвы 15 делянок всех трех повторений этого варианта).

3. Дифференцированное применение минеральных удобрений (дифференцированные дозы азота, фосфора и калия, рассчитанные на плановую урожайность ярового ячменя 3,0 т/га зерна с учетом агрохимических показателей почвы каждой делянки всех трех повторений этого варианта).

На рисунке 1 схематично представлено расположение вариантов на опытном полигоне и места взятия образцов почвы для определения агрохимических показателей по сеточному методу из центра ячейки, при котором размер контуров сетки совпадает с размером делянок¹.

При возделывании ярового ячменя в 2012 и 2018 гг. (плановая урожайность 3 т/га зерна) усредненные дозы составили соответственно N₇₀P₃₄K₂₆ и N₇₂P₃₆K₂₅, дифференцированные – N₅₃₋₈₀P₂₄₋₄₃K₁₇₋₃₄ и N₅₆₋₈₀P₂₅₋₄₂K₂₀₋₂₇. Расчет доз удобрений под запланированную урожайность ячменя в каждом варианте осуществляли по методу нормативного баланса, основанного на возмещении выноса питательных веществ планируемым урожаем с учетом агрохимических показателей плодородия почвы².

Яровой ячмень в опыте высевали в первых числах мая с нормой посева 5 млн всх. семян на 1 га на глубину 5-6 см. Минеральные удобрения вносили вручную под предпосевную культивацию. В качестве азотных удобрений использовали аммиачную селитру, фосфорных – двойной суперфосфат, калийных – хлористый калий.

Основные агрохимические показатели почвы (рН, гумус, нитратный и аммонийный азот, подвижный фосфор P₂O₅ и обменный калий K₂O) с глубины пахотного слоя (0-25 см) определяли в сертифицированной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский». Сеточный метод отбора проб почвы способствовал исследованию каждой делянки полигона с формированием по ней среднего образца. Полученные результаты статистически обрабатывали методом дисперсионного анализа³ на основе вычислительных программ обработки данных. Построение контурных карт по распределению основных элементов питания и урожайности ярового ячменя по элементарным участкам опытного полигона осуществляли с использованием вычислительной программы Surfer 7.0^{4, 5}. Урожайность ячменя учитывали путем взвешивания зерна при стандартной влажности (14 %) со всей делянки. Фенологические наблюдения и определение элементов структуры урожая выполняли в соответствии с общепринятыми методиками⁶. Оценку экономической эффективности проводили по технологическим картам в ценах 2022 года в соответствии с рекомендациями⁷.

¹Сычев В. Г., Афанасьев Р. А., Личман Г. И., Марченко М. Н. Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. М.: ВНИИА, 2007. 36 с.

²Сычев В.Г., Ладонин В.Ф. Державин Л.М. и др. Интегрированное применение удобрений в адаптивно-ландшафтном земледелии в нечерноземной зоне Европейской части России. М.: ВНИИА, 2005. 160 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

⁴Golden Software Ins. Surfer 7.0 Help [Электронный ресурс]. URL: <http://www.goldensoftware.com/> (Дата обращения: 15.02.2023).

⁵Мальцев К. А. Основы работы в программе Surfer 7.0. Казань: Изд-во КГУ, 2008. 24 с.

⁶Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. II. 195 с.

⁷Полунин Г. А., Гарист А. В., Князева Р. И. Методические рекомендации по определению экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе. М.: АНО «НИЦПО», 2007. 32 с.

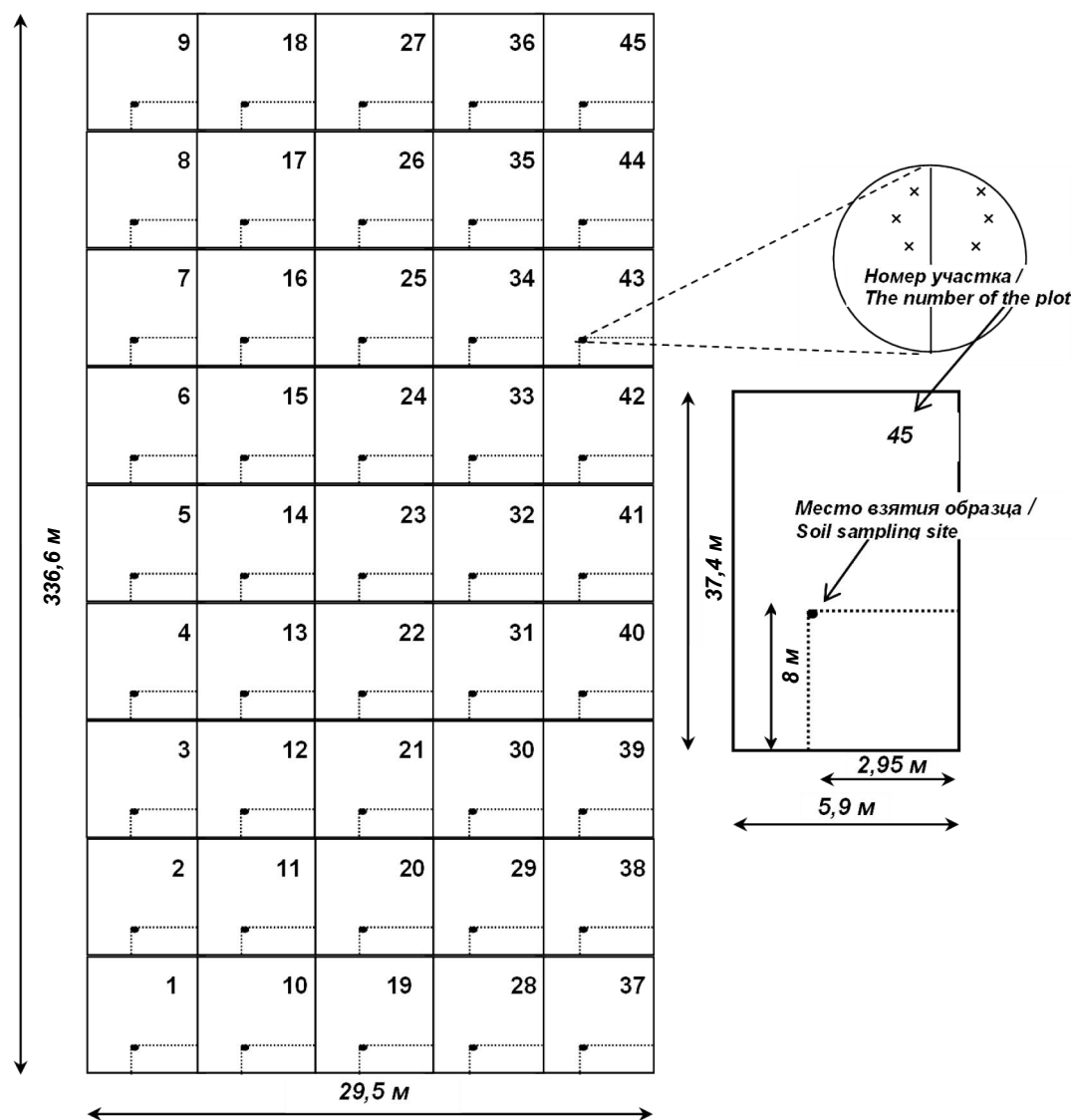


Рис. 1. Схематичный план опытного полигона и места взятия образцов почвы: усредненные дозы – I повторение – 1, 10, 19, 28, 37; II повторение – 4, 13, 22, 31, 40; III повторение – 7, 16, 25, 34, 43; контроль – I повторение – 2, 11, 20, 29, 38; II повторение – 5, 14, 23, 32, 41; III повторение – 8, 17, 26, 35, 44; дифференцированные дозы – I повторение – 3, 12, 21, 30, 39; II повторение – 6, 15, 24, 33, 42; III повторение – 9, 18, 27, 36, 45 /

Fig. 1. Schematic plan of the test field and soil sampling sites: the average doses – the 1-st repetition – 1, 10, 19, 28, 37; the 2-nd repetition – 4, 13, 22, 31, 40; the 3-rd repetition – 7, 16, 25, 34, 43; the control – the 1-st repetition – 2, 11, 20, 29, 38; the 2-nd repetition – 5, 14, 23, 32, 41; the 3-rd repetition – 8, 17, 26, 35, 44; the differentiated doses – the 1-st repetition – 3, 12, 21, 30, 39; the 2-nd repetition – 6, 15, 24, 33, 42; the 3-rd repetition – 9, 18, 27, 36, 45

Проведение исследований в лесостепи Среднего Поволжья не всегда сопровождалось благоприятными погодными условиями вегетации для роста и развития ярового ячменя. Так, в 2012 году гидротермический коэффициент (ГТК) за период вегетации составил 0,79, что по оценке условий увлажнения соответствовало слабой степени засухи, в 2018 г. ГТК составил 0,5, что относилось к засушливым условиям.

Результаты и их обсуждение. Для оценки эффективности на первом этапе проведения исследований технология дифференцированного применения минеральных удобрений потребовала детального обследования опытного полигона на предмет изменения агрохимических показателей и получения данных о содержании основных питательных элементов растений каждой делянки с жесткой привязкой к месту взятия проб почвы. На этой основе

были составлены карты обследования с учетом уровня показателей плодородия почвы, которые наглядно представлены на рисунке 2. Они показаны в среднем по двум годам в зернопаровом севообороте с распределением суммы нитрат-

ного и аммонийного азота, подвижного фосфора, обменного калия по делянкам опытного полигона перед посевом ярового ячменя. Карты необходимы были для расчета доз внесения удобрений по участкам полигона.

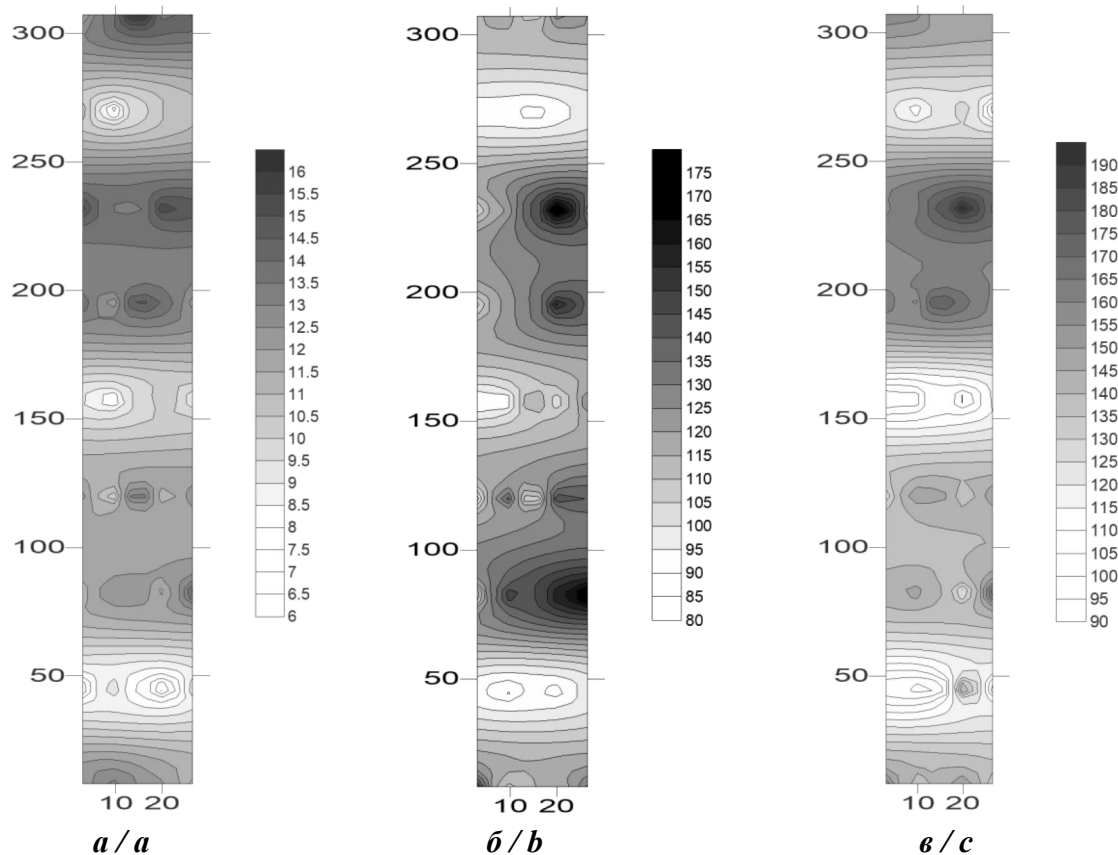


Рис. 2. Распределение основных элементов питания на опытном полигоне перед посевом ярового ячменя, мг/кг почвы (в среднем по 2012 и 2018 гг.): а) нитратного + аммонийного азота ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); б) подвижного фосфора (P_2O_5); в) обменного калия (K_2O) /

Fig. 2. Distribution of basic nutrients at the test site before sowing spring barley, mg/kg of soil (average for 2012 and 2018): а) of nitrate + ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); б) of mobile phosphorus (P_2O_5); в) of exchangeable potassium (K_2O)

Представленные контурные карты наглядно демонстрируют состояние полигона по содержанию в почве элементов питания на отдельных участках. По подвижному фосфору и обменному калию видно, что присутствовали места со средней, повышенной и высокой обеспеченностью. По содержанию подвижных форм азота также наблюдалась подобная ситуация, когда почва характеризовалась от очень низких до средних значений обеспеченности делянок этим элементом. Такая раскладка показателей на делянках полигона обеспечила репрезентативное сравнение двух технологий применения удобрений и позволила выявить их действие на урожайность зерна ярового ячменя.

При дифференцированном применении удобрений наибольшее их количество вно-

сили на низкоплодородные участки опытного полигона. На делянках, которые были обеспечены элементами питания в большей степени, дозы удобрений, наоборот, уменьшали до минимальных.

Как показали исследования, в среднем по 2012 и 2018 гг. применение минеральных туков по вариантам опыта достоверно влияло на урожайность ярового ячменя (табл. 1). Было установлено, что наибольшее ее значение (3,14 т/га) отмечено при внесении дифференцированных доз удобрений. Традиционная технология применения минеральных удобрений снижала сбор зерна на 11,5 %. В контроле была получена урожайность меньше на 41,7 %, чем при дифференцированных дозах, и на 34,2 %, чем при усредненных дозах.

Таблица 1 – Влияние минеральных удобрений на урожайность, элементы структуры урожая и индивидуальные показатели развития растений ярового ячменя сорта Зазерский 85 (в среднем по 2012 и 2018 гг.)

Table 1 – The effect of mineral fertilizers on productivity, structure elements of the yield and individual indicators of development of the plants of Zazersky 85 spring barley variety (average for 2012 and 2018)

| Показатель / Indicator | Вариант / Variant | | | HCP ₀₅ / LSD ₀₅ |
|--|---|---------------------------------------|--|--|
| | контроль (без удобрений) / control (without fertilizers) | усредненная доза / average dose | дифференциро- ванная доза / differentiated dose | |
| Урожайность, т/га / Yield, t/ha | 1,83 | 2,78 | 3,14 | 0,24 |
| Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g | 40,81 | 43,92 | 44,13 | 0,18 |
| Коэффициент продуктивной кустистости / Productive tillering coefficient | 1,38 | 1,46 | 1,58 | 0,12 |
| Высота растений, см / Plant height, cm | 47,8 | 52,5 | 52,9 | 1,1 |
| Длина колоса, см / Spike length, cm | 5,7 | 7,8 | 8,1 | 0,3 |

На рисунке 3 в двух проекциях отражена усредненная по двум годам исследований урожайность ярового ячменя, обусловленная как неоднородным содержанием питательных элементов по опытному полигону, так и раз-

личными дозами внесения удобрений при их дифференцированном внесении, а также переизбытком или дефицитом элементов питания при усредненном внесении туков.

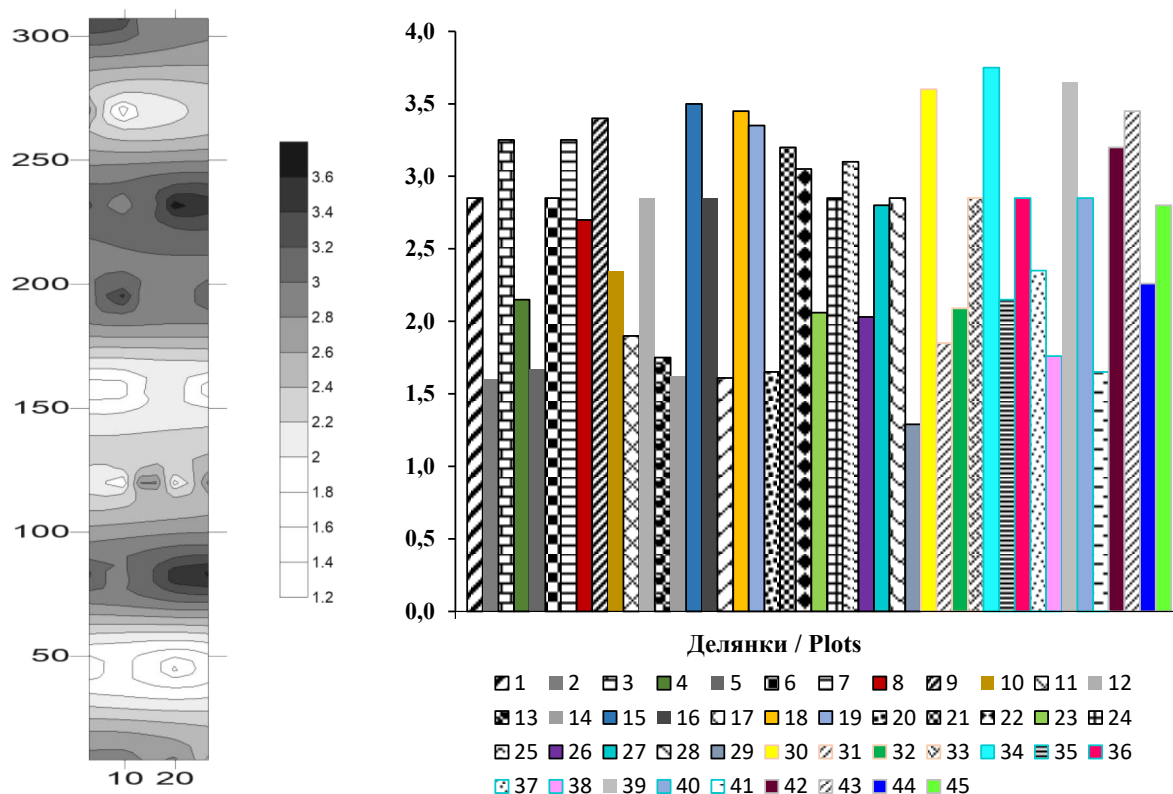


Рис. 3. Карта и диаграмма урожайности ярового ячменя сорта Зазерский 85 по делянкам опытного полигона, т/га (в среднем по 2012 и 2018 гг.) /

Fig. 3. Map and diagram of spring barley yield Zazersky 85 variety by plots of the test site, t/ha (average for 2012 and 2018)

В общем на опытном полигоне размах варьирования по урожайности зерна ярового ячменя составил 2,46 т/га, при значительном

коэффициенте вариации ($V = 25,9\%$). Усредненное внесение удобрений вызвало максимальный размах варьирования, который равнялся

2,0 т/га ($V = 21,2\%$). Технология дифференцированного применения удобрений обеспечила наименьшее изменение урожайности (размах варьирования 0,8 т/га) по участкам этого варианта ($V = 9,8\%$). В контрольном варианте разница между максимальным и минимальным значениями по сбору зерна составила 0,97 т/га при коэффициенте вариации $V = 15\%$. Кроме того, контрольный вариант наглядно продемонстрировал как изменялась урожайность ячменя при неодинаковых значениях агрохимических показателей почвы на разных делянках полигона без внесения удобрений.

Структура урожая ярового ячменя также изменялась под действием применяемых доз удобрений (табл. 1). Действие удобрений приводило к статистически значимому увеличению показателей «продуктивная кустистость», «высота растений», «длина колоса» и «масса 1000 зерен». Между собой варианты с удобрениями также различались. Преимущество по указанным показателям, прежде всего по значениям продуктивной кустистости и длине колоса, имел вариант дифференцированного применения удобрений.

Погодные условия в годы проведения исследований тоже влияли на продуктивность ярового ячменя, возделываемого при различных технологиях применения удобрений. Стоит отметить, что минеральные туки в оба года достоверно повышали сбор зерна с единицы площади, а преимущество имело дифференцированное их внесение. Наибольшее количество зерновой массы по всем вариантам опыта было получено в более влажный 2012 год. В 2018 году

урожайность в зависимости от варианта опыта была на 9-16 % ниже.

Содержательным является сопоставление размаха варьирования и коэффициентов вариации урожайности ярового ячменя в годы проведения исследований в зависимости от варианта опыта. Так, в контрольном варианте в 2012 году размах варьирования составлял 1,01 т/га при коэффициенте вариации 15,5 %, в 2018 году размах увеличился до 1,12 т/га, а коэффициент вариации до 17,0 %. Аналогичная закономерность наблюдалась в варианте с усредненными дозами удобрений, когда в 2012 году размах варьирования урожая составил 2 т/га при $V = 19,9\%$, а в 2018 году эти показатели увеличились соответственно до 2,1 т/га и 22,1 %. Дифференцированное внесение удобрений позволило, наоборот, несколько снизить разницу между минимальным и максимальным значениями урожайности с 1 т/га в 2012 году до 0,9 т/га в 2018 году, а коэффициент вариации с 10,5 до 9,5 %. Подобное проявление свидетельствовало о том, что дифференцированное внесение удобрений в течение двух ротаций севооборота с учетом внутриполевой неоднородности опытного полигона приводило к некоторому нивелированию сбора зерна на делянках этого варианта и получению в оба года исследований (даже в более засушливый год) практически одного уровня урожая.

Оценка экономической эффективности различных технологий применения минеральных удобрений в посевах ярового ячменя представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние технологий применения удобрений на экономическую эффективность возделывания ярового ячменя сорта Зазерский 85 (в среднем по 2012 и 2018 гг.) /

Table 2 – Economic efficiency of cultivation of spring barley Zazersky 85 variety depending on the technologies of application of mineral fertilizers (average for 2012 and 2018)

| Показатель / Indicator | Вариант / Variant | | |
|--|--|---------------------------------------|---|
| | контроль (без удобрений) / control (without fertilizers) | усредненная доза / average dose | дифференцированная доза / differentiated dose |
| Урожайность, т/га / Productivity, t/ha | 1,83 | 2,78 | 3,14 |
| Стоимость валового сбора, руб/га / The cost of the gross collection, rub/ha | 20130 | 30580 | 34540 |
| Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha | 16700 | 24223 | 23407 |
| Условный чистый доход, руб/га / Net income, rub/ha | 3430 | 6357 | 11133 |
| Рентабельность производства, % / Profitability, % | 20,5 | 26,2 | 47,6 |

Расчеты показали, что возделывание ярового ячменя с использованием технологии дифференцированного применения удобрений наиболее рентабельно (+27,1 % к контролю). Вырашивание данной культуры с применением усредненных доз удобрений повышало на 5,7 % эффективность в сравнении с контролем, но снижало на 21,4 % рентабельность относительно варианта с дифференцированными дозами.

Различной получилась оценка результативности от применения разных доз удобрений, связанная с дополнительными затратами на их покупку и внесение (табл. 3). Так, вариант с усредненными дозами приводил к росту издержек на 816 руб/га и уменьшал на 4776 руб/га прибыль от их использования.

Таблица 3 – Оценка эффективности затрат на покупку и использование минеральных удобрений при возделывании ячменя сорта Зазерский 85 (в среднем по 2012 и 2018 гг.) /

Table 3 – Evaluation of the effectiveness of costs for the purchase and use of mineral fertilizers in the cultivation of barley Zazersky 85 variety (average for 2012 and 2018)

| Показатели / Indicator | Вариант / Variant | | |
|--|--|---------------------------------|---|
| | контроль (без удобрений) / control (without fertilizers) | усредненная доза / average dose | дифференцированная доза / differentiated dose |
| Прибавка урожая от внесения минеральных удобрений, т/га / Yield increase from the application of mineral fertilizers, t/ha | 0 | 0,95 | 1,31 |
| Выручка от реализации дополнительной продукции, руб/га / Revenue from the sale of additional grain, rub/ha | - | 10450 | 14410 |
| Затраты на покупку и использование минеральных удобрений, руб/га / Costs for the purchase and application of mineral fertilizers, rub/ha | - | 7523 | 6707 |
| Прибыль от использования минеральных удобрений, руб/га / Profit from the use of mineral fertilizers, rub/ha | - | 2927 | 7703 |

В результате проведенных исследований было установлено, что применение дифференцированных доз удобрений позволило не только сократить издержки на их покупку и внесение, и повысить прибыль от их использования, но существенно уменьшить расход действующего вещества агрохимикатов в расчете на 1 га площади. В 2012 году экономия составила 8,5 %, а в 2018 году – 7,5 % (общая доза при дифференцированном внесении в 2012 г. – 119 кг д. в./га, в 2018 г. – 124 кг д. в./га, усредненная доза – 130 кг и 134 кг д.в./га соответственно).

Закключение. Урожайность ярового ячменя сорта Зазерский 85 зависела как от технологии применения удобрений, так и от внутриполевой неоднородности опытного полигона. По величине сформированной урожайности (в среднем за 2012 и 2018 гг.) внесение удобрений существенно превысило контрольный вариант (1,83 т/га): на 72 % при использовании дифференцированных доз, и на 44 % – усредненных. Наибольшая урожайность (3,14 т/га) ярового ячменя получена при использовании дифференцированных

доз внесения удобрений – на 13 % выше, чем в варианте с усредненными дозами. Технология дифференцированного применения удобрений обеспечила незначительный уровень варьирования урожайности на опытных участках полигона при коэффициенте вариации $V = 9,8 \%$ и размахе варьирования 0,8 т/га. При традиционном использовании туков коэффициент вариации возрастал до значительного размера ($V = 21,2 \%$), при наибольшей разнице (2 т/га) между максимальным и минимальным значениями среди вариантов. Положительное действие минеральных туков как при дифференцированном, так и при усредненном внесении проявилось в повышении показателей «масса 1000 зерен», «высота растений», «коэффициент продуктивной кустистости» и «длина колоса». Однако преимущество было отмечено у технологии дифференцированного применения удобрений, которая отличалась наибольшим уровнем рентабельности производства (47,6 %). Использование усредненных доз уменьшало прибыль от их использования с 1 га посевной площади.

Список литературы

1. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Петухов Д. А., Трубников А. В., Семизоров С. А. Технология точного земледелия: дифференцированное внесение удобрений с учётом внутриполевой неоднородности почвенноземельного покрова. Техника и оборудование для села. 2019;(2):2-9. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-2-2-7> EDN: YZCLGP
2. Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Trubnikov A. V., Petukhov D. A., Kulyanitsa A. L. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis. Archives of Agronomy and Soil Science. 2019;(12):1963-1975. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1703957>
3. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. European Journal of Agronomy. 2018;99:62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>
4. Белых С. А., Митрофанов С. В., Личман Г. И., Марченко А. Н. Экономически прибыльный прием расчета доз для дифференцированного внесения удобрений. Техника и оборудование для села. 2020;(7(277)):45-50. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-45-48> EDN: GZIMWT
5. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. Advances in Agronomy. 2021;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
6. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. Agricultural Systems. 2018;167:176-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2018.09.011>
7. Дерепаскин А. И., Куваев А. Н., Токарев И. В. Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;15(2):46-52. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52> EDN: NECEAD
8. Цыганова Н. А. Энергетическая и экономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте. Агрофизика. 2020;1:37-44. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.01.06> EDN: BLTKHP
9. Шерстобитов С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме off-line в условиях Западной Сибири. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(5(91)):22-26. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26> EDN: MQWDBL
10. Денисова О. К., Козлова М. В. Экономические аспекты применения технологии точного земледелия в Восточно-Казахстанской области. Проблемы агорыннка. 2018;(1):163-170. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069> EDN: XUFIDR
11. Кадырова Г. Д., Лагутина А. И., Пономарев А. С., Решетникова Т. Ю., Якушева В. Н. Разработка стратегии дифференцированного внесения удобрений с использованием данных дистанционного зондирования земли. Управление рисками в АПК. 2021;(1(39)):46-59. DOI: <https://doi.org/10.53988/24136573-2021-01-04> EDN: GQIJWG
12. Астахов В. С., Иванчиков Г. О. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(1):133-136. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48119069> EDN: ADPSFW
13. Астахов В. С. Возможный качественный прорыв при дифференцированном внесении гранулированных минеральных удобрений. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(1):158-161. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37332615> EDN: LRRRRF
14. Чикишев Д. В., Абрамов Н. В., Ларина Н. С. Влияние дифференцированного внесения минеральных удобрений на продуктивность и качество яровой пшеницы. АгроЭкоИнфо. 2019;(2):3. Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_237.doc
15. Чикишев Д. В. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(7):28-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666> EDN: ROALRG
16. Шерстобитов С. В., Абрамов Н. В. Урожайность яровой пшеницы при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме offline. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(2(76)):51-55. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38195024> EDN: NFGIMD
17. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность возделывания озимой пшеницы при дифференцированном использовании минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(4):26-31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405> EDN: NJGPWS
18. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):369-377. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377> EDN: ACRTUB

References

1. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Petukhov D. A., Trubnikov A. V., Semizorov S. A. Precision farming technology: differential fertilization considering the in-tra-field heterogeneity of the soil-ground cover. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019;(2):2-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-2-2-7>
2. Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Trubnikov A. V., Petukhov D. A., Kulyanitsa A. L. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis. Archives of Agronomy and Soil Science. 2019;(12):1963-1975. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1703957>
3. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. European Journal of Agronomy. 2018;99:62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>

4. Belykh S. A., Mitrofanov S. V., Lichman G. I., Marchenko A. N. Cost-effective rate calculation for differential fertilizer application. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020;(7(277)):45-50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-7-45-48>
5. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 2021;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
6. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. *Agricultural Systems*. 2018;167:176-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2018.09.011>
7. Derepaskin A. I., Kuvaev A. N., Tokarev I. V. Cultivator-Fertilizer Field Tests Using a Differential Fertilization System. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(2):46-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52>
8. Tsyganova N. A. Energy and economical efficiency of site-specific application of mineral fertilizers in field crop rotation. *Agrofizika* = Agrophysica. 2020;1:37-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.01.06>
9. Sherstobitov S. V. Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode in the conditions of western Siberia. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(5(91)):22-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26>
10. Denisova O. K., Kozlova M. V. Economic aspects of application of precise farming technology in the East Kazakhstan region. *Problemy agrorynka* = Problems of AgriMarket. 2018;(1):163-170. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069>
11. Kadyrova G. D., Lagutina A. I., Ponomarev A. S., Reshetnikova T. Yu., Yakusheva V. N. Development of a differentiated fertilizer application strategy using remote earth sensing data. *Upravlenie riskami v APK*. 2021;(1(39)):46-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53988/24136573-2021-01-04>
12. Astakhov V. S., Ivanchikov G. O. Problems of application of precision farming systems with differentiated application of solid mineral fertilizers and ways to solve them. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(1):133-136. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48119069>
13. Astakhov V. S. Possible qualitative breakthrough by differentiated application of granular mineral fertilizers. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2019;(1):158-161. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37332615>
14. Chikishev D. V., Abramov N. V., Larina N. S. Effect of differentiated application of mineral fertilizers on the productivity and quality of spring wheat. *AgroEkoInfo*. 2019;(2):3. (In Russ.). URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_237.doc
15. Chikishev D. V. Economic efficiency of application of mineral fertilizers using satellite navigation. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2020;(7):28-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666>
16. Sherstobitov S. V., Abramov N. V. Effect of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode on spring wheat yields. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;(2(76)):51-55. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38195024>
17. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of winter wheat cultivation with the differentiated application of mineral fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(4):26-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405>
18. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):369-377. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377>

Сведения об авторах

✉ **Артемьев 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

Гурьянов Александр Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, директор, 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/0000-0003-2642-1498>

Information about the authors

✉ **Andrey A. Artemjev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Coordinate Farming, Deputy Director for Science, 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

Alexander M. Guryanov, DSc in Agricultural Science, professor, Director, 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/0000-0003-2642-1498>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ / FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655>

УДК 633.282:631.52



Продуктивный и питательный потенциал суданской травы

© 2023. Н. А. Ковтунова ✉, Е. А. Шишова

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

Суданская трава отличается не только засухо- и жаростойкостью, но среди однолетних и многолетних мятликовых кормовых культур не имеет себе равных по основному элементу питания – белку. Цель работы: оценить 200 образцов и сортов суданской травы по показателям продуктивности и качества зеленой массы, выявить источники ценных признаков и их взаимосвязь. Исследования проводили в условиях Ростовской области на черноземе обыкновенном карбонатном. Коллекцию суданской травы оценивали в 2016-2019 годах, из которых контрастными метеоусловиями характеризовались 2017 г. (ГТК = 0,85) и 2018 г. (ГТК = 0,34). Выделены сорта и образцы, превысившие стандартный сорт Александрина по урожайности зеленой массы на 17,0-56,3 % (K-311, V-51/2, Черноплечатая 10, Алиса, K-187, Грация и др.), по содержанию сухого вещества – выше стандарта на 4,0-8,3 % (K-141/1, K-348/2, Светлоплечатая 1, Черносемянная 191 и др.) и сбору сухого вещества – на 26,4-60,5 % (Черноплечатая 10, Алиса, K-187 и др.). К источникам высокого содержания сырого протеина отнесены образцы коллекции K-237, K-349/1, Тополек, K-311, K-161ч, Суданка 24, Россиянка (14,8-16,1 %); клетчатки – K-176/2, Озорница, K-265/2, K-10257 (38,8-40,4 %) и др. Выделенные образцы рекомендуются к использованию в гибридизации для получения новых высокопродуктивных сортов и гибридов с отличным качеством зеленой массы. В результате корреляционно-регрессионного анализа установлена слабая отрицательная взаимосвязь между урожайностью зеленой массы суданской травы и содержанием в ней сырого протеина, при увеличении на 1 % содержания протеина урожайность снижается на 93,8 г/м².

Ключевые слова: сухое вещество, урожайность, протеин, клетчатка, качество, образец, сорт, исходный материал

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «АНЦ «Донской» (тема № 0505-2022-0003).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Шишова Е. А. Продуктивный и питательный потенциал суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):646-655. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655>

Поступила: 14.03.2023

Принята к публикации: 26.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Productive and nutritional potential of Sudan grass

© 2023. Natalia A. Kovtunova ✉, Elena A. Shishova

Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Sudan grass is characterized by drought and heat resistance and is the best among annual and perennial bluegrass feed crops by the content of the main nutrient element - protein. The aim of the research is to evaluate 200 accessions and varieties of Sudan grass according to productivity and quality of green mass, to identify the sources of valuable traits and their correlation. The study was carried out in the Rostov region on ordinary carbonate black earth (chernozem). The collection of Sudan grass was evaluated in 2016-2019, of which contrasting weather conditions were characterized by 2017 (HTC = 0.85) and 2018 (HTC = 0.34). There were identified varieties and accessions that exceeded the standard variety Alexandrina according to green mass yield by 17.0-56.3 % (K-311, V-51/2, Chernoplenchataya 10, Alisa, K-187, Gratsiya, etc.); in terms of dry matter content – above the standard by 4.0-8.3 % (K-141/1, K-348/2, Svetloplenchataya 1, ‘Chernosemyannaya 191) and dry matter yield – by 26.4-60.5 % (Chernoplenchataya 10, Alisa, K-187, etc.). The sources of high content of crude protein include samples of the collection K-237, K-349/1, Topolek, K-311, K-161ch, Sudanka 24, Rossiyanka (14.82-16.13%); fiber - K-176/2, Ozornitsa, K-265/2, K-10257, etc. (38.8-40.4 %). The identified samples have been recommended for use in hybridization to develop new highly productive varieties and hybrids with high quality green mass. As a result of correlation-regression analysis, a weak negative relationship was established between the yield of green mass of Sudan grass and the content of crude protein in it, with an increase in protein content by 1 %, the yield decreases by 93.8 g/m².

Keywords: dry matter, productivity, protein, fiber, quality, sample, variety, initial material

Acknowledgements: the research was carried within the state assignment of “Agricultural Research Center “Donskoy” (theme No. 0505-2022-0003).

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: Kovtunova N. A., Shishova E. A. Productive and nutritional potential of Sudan grass. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):646-655. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655>

Received: 14.03.2023

Accepted for publication: 26.07.2023

Published online: 30.08.2023

Урожайность – решающий показатель ценности сортов, линий, образцов, гибридов сельскохозяйственных культур. Для развития кормопроизводства и животноводства важно не только количество корма, но и его качество. В связи с участвовавшими засухами, следует рассмотреть возможность увеличения посевов однолетних и многолетних трав на зеленый корм, сено, сенаж [1]. Суданская трава (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) – это кормовая культура, которая, отличаясь высокой засухо- и жаростойкостью, не имеет себе равных среди однолетних и многолетних мятликовых кормовых культур по содержанию белка в сухом веществе [2, 3, 4]. Однако необходимо учитывать, что количество протеина в сухом веществе уменьшается по мере роста и развития растений, а содержание клетчатки увеличивается. Считается, что лучшими сроками уборки зеленой массы суданской травы на сено является период «выход в трубку-выметывание» [5]. Кроме того, ранняя уборка способствует более интенсивному послеуборочному отрастанию и формированию второго, иногда и третьего укосов [6]. Для сена суданской травы характерно и необходимо наличие клетчатки, которая помогает разрыхлению корма, делая его более доступным пищеварительному соку, стимулирует моторную функцию пищеварительного тракта и способствует продвижению пищи и очистке кишечника. Избыток клетчатки в рационе животных снижает переваримость питательных веществ и увеличивает потерю энергии организма.

Установлено, что образцы суданской травы с высокой кустистостью и тонкостебельностью имеют более высокое качество зеленой массы [7]. Кроме того, у них наблюдается быстрое высыхание зеленой массы, и сено лучше переваривается сельскохозяйственными животными.

Одним из условий дальнейшего роста урожайности и качества является создание новых сортов, устойчивых не только к неблагоприятным засушливым условиям климата, но и полеганию, и поражению болезнями [8, 9].

Начальным этапом при создании сортов является подбор родительских пар. В этом случае сформированные коллекции источников ценных признаков значительно сокращают затраты времени на поиск исходного материала. Поэтому изучение коллекционного материала, поиск источников ценных признаков является актуальным при селекции как на урожайность, так и на качество.

Цель исследований – оценить образцы и сорта коллекции суданской травы по показателям продуктивности и качества зеленой массы, выявить источники ценных признаков и их взаимосвязь.

Научная новизна – выявлен ряд новых источников ценных признаков для использования в селекционной работе, установлены взаимосвязи показателей качества и продуктивности зеленой массы суданской травы.

Материал и методы. Исследования проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область) в 2016-2019 гг.

Объект исследований – коллекционные образцы (200 шт.) суданской травы, представленные иностранными генотипами (из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», а также сортами, созданными в различных научных учреждениях России, в том числе ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Почва представлена обыкновенным карбонатным черноземом с содержанием в пахотном слое: гумуса – 3,2 %, фосфора – 18,5-20 мг/кг, калия – 342-360 мг/кг почвы [10]. По плодородию и физико-химическим свойствам почва опытного участка благоприятна для выращивания сельскохозяйственных культур, в том числе суданской травы.

Метеорологические условия в годы исследований (2016-2019 гг.) значительно различались. Согласно грациям гидротермического коэффициента (ГТК)¹, разной степени увлажнения соответствуют следующие: ГТК < 0,4 – очень сильная засуха; 0,4 ≤ ГТК < 0,5 – сильная

¹Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. Под ред. А. А. Исаева. М.: Изд-во географического ф-та МГУ, 2005. Т. 2. 412 с.

засуха; $0,5 \leq \text{ГТК} < 0,7$ – средняя засушливость; $0,7 \leq \text{ГТК} \leq 1,0$ – недостаточно влажно; $1,0 < \text{ГТК} \leq 2,0$ – достаточно влажно; $\text{ГТК} > 2,0$ – переувлажнено. В годы исследования отмечены очень сильная засуха в период вегетации суданской травы ($\text{ГТК} = 0,34$) в 2018 году, средняя засуха – в 2016 г. ($\text{ГТК} = 0,63$) и 2019 г. ($\text{ГТК} = 0,70$), недостаточное увлажнение – в 2017 г. ($\text{ГТК} = 0,85$). Следует выделить условия 2018 года, когда недостаток влаги в мае-июне значительно снизил урожайность зеленой массы первого укоса. Обильные осадки в июле способствовали развитию листостебельной массы, в результате чего у скороспелых образцов урожайность во втором укосе была в 1,5-2 раза выше, чем в первом.

Опыты выполнены в соответствии с методическими рекомендациями². Посев проводили в оптимальные сроки (начало мая) с нормой высева 340 тыс. шт. всхожих семян на 1 га, широкорядным способом (70 см) сеялкой Клен-4.2. Образцы высевали однорядковыми деланками, площадью 7 м². В качестве стандарта использовали сорт Александрина, который размещали в каждой 10-й деланке.

Сорт Александрина – среднеспелый, сухостебельный, засухоустойчивый, кустистый (4-5 стеблей на растении). Устойчив к полеганию, поражению болезнями и вредителями. Отличается высокой интенсивностью начального роста и послеукосного отрастания. Рекомендуется для возделывания на зеленый корм, сено и выпас. Допущен к использованию по Северо-Кавказскому региону РФ с 2007 года.

Мероприятия по уходу за растениями, уборку зеленой массы и обработку почвы проводили в соответствии с Технологией возделывания суданской травы³. На биохимический анализ из скошенной травы отбирали пробы листостебельной массы. Показатели качества зеленой массы (содержание сырого протеина, клетчатки, жира, золы) определяли по общепринятым методикам⁴.

Сбор переваримого протеина рассчитывали по формуле⁵:

$$\text{СПП} = (\text{ПП} * \text{УСВ}) / 100, \text{ где}$$

СПП – сбор переваримого протеина с единицы площади; ПП – содержание переваримого протеина в сухом веществе, %; УСВ – сбор сухого вещества с единицы площади.

Распределение образцов суданской травы по продолжительности периода «всходы-выметывание» осуществляли согласно классификации З. С. Виноградова⁶: скороспелые – до 40 дней, раннеспелые – 41-50; среднеранние – 51-55; среднеспелые – 56-65; среднепоздние – 66-70; поздние – более 70 дней.

Статистический анализ (наблюдения, сводка и группировка данных, абсолютные и относительные величины) проводили по методикам, изложенным Б. А. Доспеховым⁷, регрессионный и корреляционный анализы – с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. У суданской травы урожайность зеленой массы – это суммарный вес стеблей и листьев растений с единицы площади. У образцов коллекции в сумме за два укоса (в среднем за 2016-2019 гг.) она составила 902-5376 г/м², у стандартного сорта Александрина – 3400 г/м² (рис. 1).

Большая часть изученной коллекции (75 %, или 150 шт.) уступала стандарту, это, в основном, скороспелые формы, а также образцы, выделившиеся по другим хозяйственно ценным признакам и свойствам. Только 5 % (10 образцов) значительно превысили стандарт на 579-1916 г/м². Согласно классификации З. С. Виноградова⁸, они относятся к среднеранней (продолжительность «всходы-выметывание» – 50-55 дней) и среднеспелой (56-62 дня) группам спелости, средне- и хорошо облиственные (8-12 листьев на растении), тонкостебельные формы (0,9-1,3 см) (табл. 1).

²Методические указания по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур. Л.: ВИР, 1968. 51 с.

³Горпиниченко С. И., Метлина Г. В., Ковтунов В. В., Васильченко С. А. Технология возделывания суданской травы. Ростов-на/Дону: ЗАО «Книга», 2014. 32 с.

⁴Методы биохимического исследования растений. Под ред. А. И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1987. 430 с.

⁵Харьков Г. Д., Шеховцова Н. С. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВИК, 1983. 198 с.

⁶Виноградов З. С., Андрияш Н. В., Репко В. И. Селекционная ценность мировой коллекции суданской травы. Селекция, агротехника и экономика производства сорго. Черноград, 1989. С. 45-55.

⁷Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

⁸Виноградов З. С., Андрияш Н. В., Репко В. И. Указ. соч.

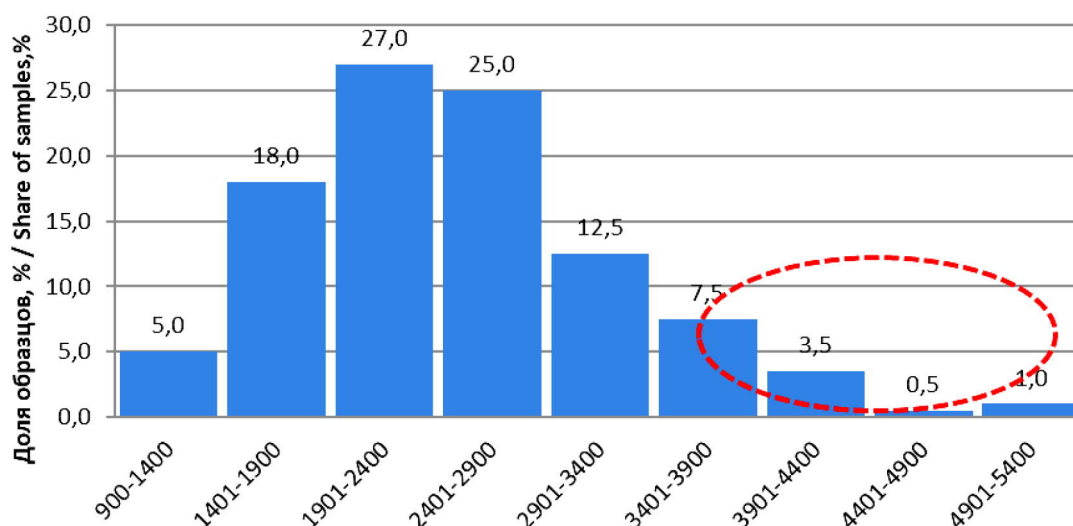


Рис. 1. Урожайность зеленой массы образцов коллекции суданской травы, г/м² (среднее за 2016-2019 гг.) /
Fig. 1. Productivity of green mass of the collection samples of Sudan grass, g/m² (average 2016-2019)

Таблица 1 – Характеристика высокоурожайных сортов и образцов коллекции суданской травы (среднее за 2016-2019 гг.) /
Table 1 – Characteristics of high-yielding varieties and samples of the collection of Sudan grass (average for 2016-2019)

| Сорт/Образец / Variety/Sample | Происхождение / Origin | Урожайность зеленой массы, г/м² / Green mass productivity, g/m² | Период «всходы- выметывание», дни / Stage of "sprouting-head formation", days | Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs. | Диаметр стебля, см / Stem diame- ter, cm |
|---|-----------------------------|--|---|---|---|
| Александрина, ст. / Aleksandrina, st | РФ / RF | 3400 | 58 | 10 | 0,9 |
| К-311 | Аргентина / Argentina | 3979 | 51 | 9 | 1,1 |
| В-51/2 | РФ / RF | 3981 | 52 | 8 | 0,9 |
| Черноплечатая 10 / Chernoplen-chataya 10 | РФ / RF | 3984 | 53 | 9 | 0,9 |
| Алиса / Alisa | РФ / RF | 4013 | 56 | 10 | 1,1 |
| К-187 | Азербайджан / Azerbaijan | 4055 | 59 | 9 | 0,9 |
| Грация / Graciya | РФ / RF | 4133 | 56 | 9 | 1,0 |
| К-10257 | РФ / RF | 4197 | 60 | 12 | 1,0 |
| Озорница / Ozornica | РФ / RF | 4588 | 62 | 10 | 0,9 |
| К-505/2 | РФ / RF | 5133 | 57 | 10 | 1,2 |
| К-443 | Индия / India | 5315 | 62 | 11 | 1,3 |
| Среднее / Average | - | 2470 | 49 | 8 | 0,8 |
| σ | - | 500 | 4 | 1 | 0,2 |

Согласно данным биохимического анализа зеленой массы выделенных сортов и образцов, сбор сухого вещества у них превысил стандарт на 119-394 г/м², или на 18,3-60,5 %, сбор переваримого протеина – на уровне стандарта, либо значительно превышал его (24-39 г/м²). Более детальная оценка показала, что из выделенных форм по содержанию сырого протеина стандартный сорт превзошел

только один образец К-311 (на 1,5 %), сухого вещества – Алиса (на 1,8 %), Грация (на 2,1 %), К-10257 (на 3,6 %) и Озорница (на 3,7 %), клетчатки – почти все образцы. По остальным показателям отмеченные сортообразцы значительно уступали (более чем на величину стандартного отклонения), либо имели значения на уровне сорта Александрина (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели качества зеленой массы у перспективных сортов и образцов коллекции суданской травы (в среднем за 2016-2019 гг.) /

Table 2 – Indicators of green mass quality of the promising varieties and collection samples of Sudan grass (average for 2016–2019)

| Сорт / Образец / Variety / sample | Содержание, % / Content, % | | | | | | Сбор, г/м ² / Yield, g/m ² | |
|--|------------------------------------|--|---------------|---------------|---------------------------|--------------|--|---|
| | сухого вещества / dry matter | сырого протеина / crude pro- tein | зола / ash | жира / oil | клет- чатки / fiber | БЭВ / NES | сухого вещества / dry matter | переваримого протеина / Digestible protein |
| Александрина, ст. / Aleksandrina, st. | 19,1 | 13,3 | 9,5 | 2,7 | 31,7 | 42,8 | 651 | 28 |
| К-311 | 19,4 | 14,8 | 8,6 | 2,5 | 31,7 | 42,5 | 770 | 38 |
| В-51/2 | 18,8 | 10,9 | 9,0 | 2,0 | 35,0 | 43,2 | 750 | 27 |
| Чернопленчатая 10 / Chernoplenhataya 10 | 20,7 | 9,6 | 9,2 | 1,9 | 37,1 | 42,2 | 823 | 26 |
| Алиса / Alisa | 20,9 | 11,9 | 7,8 | 2,2 | 36,6 | 41,5 | 839 | 33 |
| К-187 | 20,7 | 10,1 | 8,0 | 1,9 | 37,0 | 43,9 | 840 | 28 |
| Грация / Graciya | 21,2 | 10,5 | 9,9 | 1,5 | 37,0 | 41,1 | 877 | 30 |
| К-10257 | 22,7 | 7,7 | 6,9 | 2,2 | 25,7 | 31,5 | 951 | 24 |
| Озорница / Ozornica | 22,8 | 8,4 | 9,1 | 2,1 | 38,9 | 41,5 | 1045 | 29 |
| К-505/2 | 18,3 | 12,7 | 9,5 | 2,4 | 38,6 | 36,8 | 938 | 39 |
| К-443 | 16,2 | 12,6 | 9,3 | 2,3 | 35,6 | 40,2 | 873 | 36 |
| Среднее / Average | 19,5 | 11,1 | 8,7 | 2,1 | 35,2 | 42,9 | 485 | 18 |
| σ | 3,1 | 2,9 | 2,3 | 0,7 | 3,1 | 4,4 | 166 | 10 |

Согласно проведенному нами ранее анализу корреляционных взаимодействий, на урожайность зеленой массы суданской травы оказывают сильное влияние осадки в период «всходы-первый укос» ($r = 0,89 \pm 0,22$). С суммой температур в период «всходы-выметывание» связь средняя отрицательная ($r = -0,57 \pm 0,22$) [5].

Установлено, что между содержанием сухого вещества и урожайностью зеленой массы наблюдается слабая положительная связь ($r = 0,26 \pm 0,006$). Увеличение содержания сухого вещества на 1 % сопровождается повышением урожайности на 1,05 т/га [11]. Однако по результатам изучения коллекционных образцов за 2016-2019 гг. не было установлено достоверной связи урожайности зеленой массы с содержанием сухого вещества.

Сухое вещество – носитель питательной ценности кормов. Считается, что чем выше его содержание, тем выше питательность корма. У образцов коллекции данный показатель составил 16,0-27,4 % (стандарт 19,1 %, среднее 19,5 %, $\sigma = 3,1$ %). Значительно превысили стандарт 37 образцов (более 20,8 %). Наибольшие значения отмечены у образцов К-141/1 (23,1 %), К-348/2 (23,1 %), Светлопленчатая 1 (23,2 %), Черносемянная 191 (23,2 %), К-280/201/1 (23,6 %), К-315 (25,8 %), Россиянка (27,4 %), что выше стандарта на 4,0-8,3 %.

Сбор сухого вещества у коллекционных образцов и сортов имел широкий размах варьирования – 152-1045 г/м² (стандарт Александрина – 651 г/м², $\sigma = 166$). Малые значения отмечены у скороспелых и раннеспелых форм, что объясняется низкой урожайностью зеленой массы. Сбор сухого вещества менее 480 г/м² отмечен у 55 %, или 110 образцов (значительно ниже стандарта). Превышение над сортом Александрина более чем на 166 г/м² наблюдали у 4,5 %, или 9 образцов (табл. 3).

Следует отметить, что выделенные образцы превышали сорт Александрина и по урожайности зеленой массы (при содержании сухого вещества на уровне $19,06 \pm 1,7$ %). У выделенных форм превосходство над стандартом обусловлено, в большей степени, высокой урожайностью зеленой массы, чем содержанием сухого вещества.

Среди них выделился сорт Россиянка, который относится к среднеранней группе созревания (к уборке на зеленую массу можно приступать на 6 дней раньше стандарта) и имеет урожайность (3090 г/м²) на уровне сорта Александрина (3413 ± 500 г/м²). Однако Россиянка превосходит стандарт по качественным показателям: содержание сухого вещества 27,4 % (выше на 8,3 %), сырого протеина – 16,13 % (на 2,95 %).

Таблица 3 – Характеристика сортов и образцов коллекции суданской травы с высоким сбором сухого вещества (в среднем за 2016-2019 гг.) /

Table 3 – Characteristics of the varieties and collection samples of Sudan grass with large productivity of dry matter (average for 2016-2019)

| Сорт/Образец / Variety/sample | Происхождение / Origin | Сбор сухого вещества, г/м ² / Yield dry matter, g/m ² | Урожайность зеленой массы, г/м ² / Productivity green mass / g/m ² | Содержание сухого вещества, % / Dry matter content, % | Период «всходы- выметывание», дни / Stage of "sprouting-head formation", days |
|--|-----------------------------|--|---|--|---|
| Александрина, ст. / Aleksandrina, st. | РФ / RF | 651 | 3413 | 19,1 | 58 |
| Черноплечатая 10 / Chernoplenchataya 10 | РФ / RF | 823 | 3984 | 20,6 | 53 |
| Алиса / Alisa | РФ / RF | 839 | 4013 | 20,9 | 56 |
| К-187 | Азербайджан / Azerbaijan | 840 | 4055 | 20,7 | 59 |
| Россиянка / Rossiyanika | РФ / RF | 846 | 3090 | 27,4 | 52 |
| К-443 | Индия / India | 873 | 5376 | 16,2 | 62 |
| Грация / Graciya | РФ / RF | 877 | 4133 | 21,2 | 56 |
| К-505/2 | РФ / RF | 938 | 5133 | 18,3 | 57 |
| К-10257 | РФ / RF | 951 | 4197 | 22,7 | 60 |
| Озорница / Ozornica | РФ / RF | 1045 | 4588 | 22,8 | 62 |
| Среднее / Average | - | 485 | 2470 | 19,5 | 49 |
| σ | - | 166 | 500 | 3,1 | 4 |

В результате дисперсионного анализа установлено, что условия возделывания суданской травы внесли наибольший вклад в изменчивость содержания сухого вещества в ее зеленой массе (81,3 %), доля сорта – незначительна (12,2 %) [12]. Согласно ряду исследований, этот показатель находится в сильной зависимости от внешних условий [13, 14]. В исследованиях, проведенных нами ранее, установлено, что содержание сухого вещества находится в средней отрицательной связи с суммой температур ($r = -0,31 \dots -0,39$), а при росте ГТК на 0,1 единицы, сбор сухого вещества – увеличивается на 0,47 т/га [12].

Следует отметить, что питательность корма определяется качественным составом сухого вещества, при этом наибольшую ценность представляет белок.

По содержанию сырого протеина образцы коллекции варьировали в пределах 7,1-16,1 % (стандарт 13,3 %). Большая часть изучаемой коллекции имела значения ниже сорта Александрина, только 4 образца с содержанием сырого протеина 14,8-16,1 % превзошли его на величину стандартного отклонения (2,9 %): К-311, К-161ч, Суданка 24, Россиянка. Образцы – источники высокого содержания сырого протеина относятся к ранне- и среднеранней группам, созревания (более 14,0 %), их урожайность зеленой массы варьирует от 1091 г/м² (у раннеспелого образца К-349/1) до 3979 г/м²

(у среднеспелого сорта Тополек). Сбор переваримого протеина, в большей степени, зависел от урожайности зеленой массы и имел значения 9-45 г/м² (табл. 4).

При выбраковке образцов необходимо принимать во внимание показатели не только продуктивности, но и качества. Для получения высокобелковых форм следует учитывать характер наследования – доминирование меньших значений признака, поэтому для гибридизации необходимо подбирать формы с высокими значениями признака [15].

Образец К-349/1 представляет ценность для селекционной работы, так как является источником высокого содержания протеина и раннеспелости, а образец Россиянка – высокого содержания сырого протеина и сухого вещества.

В результате корреляционно-регрессионного анализа установлено, что связь урожайности и содержания сырого протеина слабая отрицательная ($r = -0,18 \pm 0,0699$) и при увеличении на 1 % содержания протеина урожайность зеленой массы снизилась на 93,8 г/м² (рис. 2). На графике рассеяния большая часть образцов находится в центре (урожайность 1000-4000 г/м²; содержание протеина 9-13 %). Выделены две группы: первая – образцы с урожайностью выше стандарта 3888-5376 г/м² и содержанием сырого протеина 11,91-12,74 %, вторая – с урожайностью на уровне стандарта

3090-3979 г/м² и высоким содержанием протеина 14,75-16,13 % соответственно. Это образцы К-443, К-505/2, Алиса, К-446, К-311, Тополек и

Россиянка. Данные исследования подтверждают возможность совмещения в сорте высокой урожайности и содержания сырого протеина.

Таблица 4 – Характеристика сортов и образцов суданской травы – источников высокого содержания протеина в зеленой массе (в среднем за 2016-2019 гг.) /

Table 4 – Characteristics of varieties and samples of Sudanese grass - sources of high protein content in green mass (average for 2016-2019)

| Сорт/Образец / Variety/Sample | Происхождение / Origin | Содержание сырого протеина, % / Crude protein percentage, % | Период «всходы-выметывание», дни / Stage of "sprouting-head formation", days | Урожайность зеленой массы, г/м ² / Green mass productivity, g/m ² | Сбор переваримого протеина, г/м ² / Yield of digestible protein, g/m ² |
|---------------------------------------|------------------------|---|--|---|--|
| Александрина, ст. / Aleksandrina, st. | РФ / RF | 13,3 | 58 | 3413 | 28 |
| К-237 | Венгрия / Hungary | 14,0 | 51 | 2163 | 20 |
| К-349/1 | РФ / RF | 14,2 | 40 | 1091 | 9 |
| Тополек / Topolek | РФ / RF | 14,6 | 55 | 3820 | 31 |
| К-311 | Аргентина / Argentina | 14,8 | 51 | 3979 | 38 |
| К-161ч | РФ / RF | 15,1 | 50 | 1824 | 18 |
| Суданка 24 / Sudanka 24 | РФ / RF | 15,1 | 51 | 1436 | 13 |
| Россиянка / Rossiyanika | РФ / RF | 16,1 | 52 | 3090 | 45 |
| Среднее / Average | - | 11,1 | 49 | 2470 | 18 |
| σ | - | 2,9 | 4 | 500 | 10 |

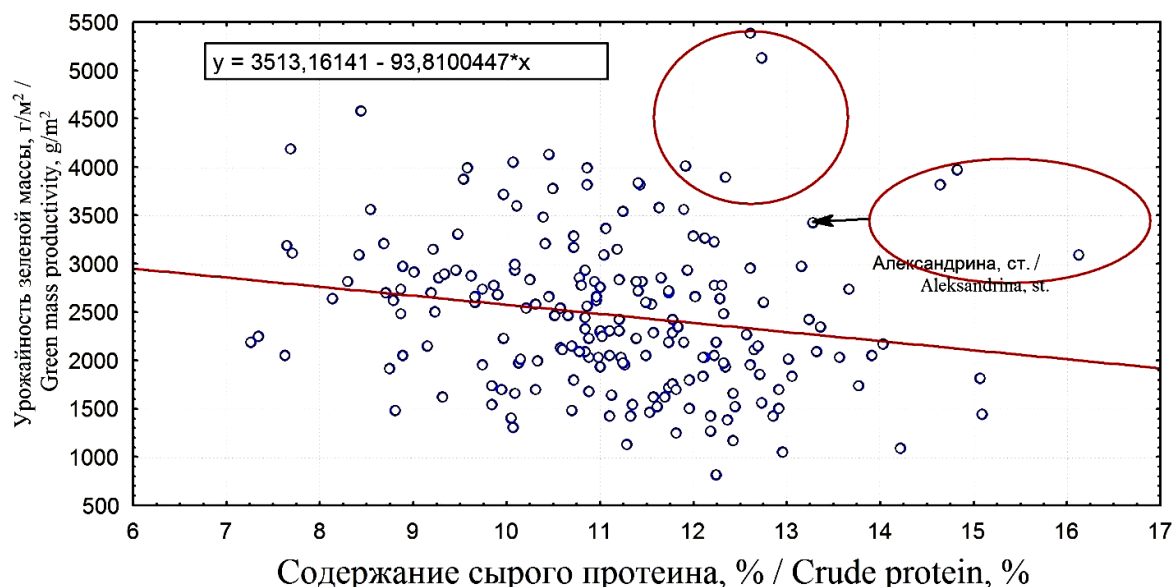


Рис. 2. Зависимость урожайности зеленой массы и содержания сырого протеина в сортах и образцах коллекции суданской травы (в среднем за 2016-2019 гг.) /

Fig. 2. The dependence of the yield of green mass and the content of crude protein in varieties and samples of the Sudan grass collection (average for 2016-2019)

В исследованиях И. Голубиновой и др. [16] установлено, что содержание протеина в зеленой массе суданской травы имеет отрицательную корреляцию с содержанием клетчатки

($r = -0,51 \dots -0,99$), которое уменьшается при каждом следующем укосе, что связано со снижением высоты растений и формированием более нежной листостебельной массы.

Клетчатка не считается важным питательным веществом, но необходима для нормальной физиологической функции желудочно-кишечного тракта животных [17].

У коллекционных образцов содержание клетчатки составило 28,8-40,4 % (стандарт 31,7 %, $\sigma = 3,1$). Оптимальная концентрация сырой клетчатки в рационах КРС 22-24 % [18]. При переваримости клетчатки в сене суданской травы 65-69 % [19] достичь желаемой концентрации можно при содержании ее в сухом веществе 34-40 %. Этим требованиям отвечает большая часть коллекционного питомника – 76 %, или 152 образца, среди них с наибольшими значениями можно выделить образцы К-176/2 (38,8 %), Озорница (38,9 %), К-265/2 (39,4 %), К-10257 (39,5 %), U:0145476 (39,6 %), Украинка (40,4 %).

Выводы. 1. По урожайности зеленой массы суданской травы образцы К-311, В-51/2, Чернопленчатая 10, Алиса, К-187, Грация, К-10257, Озорница, К-505/2, К-443 превысили стандартный сорт Александрина на 579-1915 г/м² (на 1,0-3,9 %). Их рекомендуется использовать в селекции для получения новых сортов и гибридов.

2. У сортообразцов, выделившихся по сбору сухого вещества (Чернопленчатая 10, Алиса, К-187 Россиянка, К-443, Грация, К-505/2, К-10257, Озорница), превосходство над стандартом обусловлено, в большей степени,

высокой урожайностью зеленой массы, чем содержанием сухого вещества. Наибольшие значения по этому показателю отмечены у образцов К-141/1 (23,1 %), К-348/2 (23,1 %), Светлопленчатая 1 (23,2 %), Черносемянная 191 (23,2 %), К-280/201/1 (23,6 %), К-315 (25,7 %), Россиянка (27,4 %).

3. К образцам – источникам высокого содержания сырого протеина в сухом веществе зеленой массы отнесены формы К-237, К-349/1, Тополек, К-311, К-161ч, Суданка 24, Россиянка со значениями 14,0-16,1 %. Их рекомендуется использовать в гибридизации для получения высокобелковых сортов.

4. Для достижения оптимальной концентрации сырой клетчатки в рационах КРС необходимо использовать сорта суданской травы с содержанием клетчатки в сухом веществе 34-40 %. Среди образцов коллекции следует выделить – К-176/2 (38,8 %), Озорница (38,9 %), К-265/2 (39,4 %), К-10257 (39,5 %), U:0145476 (39,6 %), Украинка (40,4 %), отвечающие данным требованиям.

5. В результате корреляционно-регрессионного анализа установлена слабая отрицательная взаимосвязь между урожайностью зеленой массы суданской травы и содержанием в ней сырого протеина ($r = -0,18 \pm 0,0699$), при увеличении на 1 % содержания протеина на 93,8 г/м² снижалась урожайность.

Список литературы

1. Ногаев А. А., Серекпаев Н. А., Муханов Н. К., Байтеленова А. А., Аширбекова И. А. Оценка продуктивности и питательности поликомпонентных смесей и одновидовых посевов кормовых культур в условиях северного Казахстана. Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2021;(3(110)):50-60. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47807315> EDN: HABBWZ
2. Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Капитанов М. П., Пронин А. А. Влияние срока сева и минерального питания на продуктивность однолетних травосмесей. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(5):735-744. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.735-744> EDN: DGUWCB
3. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic. E3S Web of Conferences. 2021;262:01012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201012>
4. Плескачев Ю. Н., Лаптина Ю. А., Гиченкова О. Г., Куликова Н. А. Продуктивность и питательная ценность суданской травы при возделывании на зеленый корм. Аграрный научный журнал. 2021;(8):28-32. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp28-33> EDN: VRQZWI
5. Алабушев А. В., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шишова Е. А. Кормовая ценность суданской травы в зависимости от срока уборки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4):343-350. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350> EDN: ZKCVBZ
6. Насиев Б. Н., Жанаталапов Н. Ж., Есенгужина А. Сроки уборки суданской травы в условиях Западноказахстанской области. Аграрная наука. 2019;(3):45-47. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-323-3-45-47> EDN: UBGFYB
7. Биктимиров Р. А., Шакирзянов А. Х., Низаева А. А. Результаты селекции суданской травы и сорго-суданкового гибрида в Башкирском НИИСХ. Известия Уфимского научного центра РАН. 2018;(3-6):51-53. DOI: <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-6-3-51-53> EDN: YLKLKH
8. Мардваев Н. Б., Шапсович С. Н. Суданская трава в Бурятии – наиболее экстремальной зоне ее возделывания в России. Norwegian Journal of Development of the International Science. 2019;26-2:10-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36920061> EDN: YWITUT

9. Vozhzhova N. N., Ionova E. V., Popov A. S., Kovtunov V. V. Identification of Fertility Gene Rf1 in Collection Samples of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in Southern Russia. *Biology and Life Sciences Forum*. 2021;4(1): 81. DOI: <https://doi.org/10.3390/IECPS2020-08710>
10. Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Копман И. К., Марченко Д. М., Самофалов А. П., Фетюхин И. В. Предшественники и сроки посева сорта мягкой озимой пшеницы Юбилей Дона в южной зоне Ростовской области. *Зерновое хозяйство России*. 2022;14(4):97-103. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103> EDN: IXANSK
11. Ковтунова Н. А., Романюкин А. Е., Ковтунов В. В., Кравченко Н. С. Параметры адаптивности и изменчивости урожайности и качества зеленой массы суданской травы. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2022;(6):58-62. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49850753> EDN: KCOLPU
12. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Шишова Е. А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016;(3):39-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27284152> EDN: WZBNSP
13. Enchev S. Productivity and feed quality of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) and sweet sorghum forms. *Agricultural science and technology*. 2021;13(1):57-62. DOI: <https://doi.org/10.15547/ast.2021.01.011>
14. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply. *Agricultural Sciences*. 2021;13(31):81-86. DOI: <https://doi.org/10.22620/agrisci.2021.31.012>
15. Ковтунова Н. А., Ермолина Г. М. Использование закономерностей наследования содержания протеина в зеленой массе сорго сахарного для получения высокобелкового корма. *Зерновое хозяйство России*. 2012;(4):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17896693> EDN: PBQLZL
16. Golubina I., Naydenova Y., Enchev S., Kikindonov T., Ilieva A., Marinov-Serafimov P. Biochemical Evaluation of Forage Quality from Mutant Forms Sudan Grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.). *Journal of Ecology and Environment Sciences*. 2016;XV(4):44-51. URL: https://www.researchgate.net/publication/312039629_Biochemical_Evaluation_of_Forage_Quality_from_Mutant_Forms_Sudan_Grass_Sorghum_sudanense_Piper_Stapf
17. Дронова Т. Н., Бурцева Н. И. Возделывание суданской травы на корм в условиях орошения. *Орошаемое земледелие*. 2019;(3):30-33. DOI: <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2019-3-8> EDN: MQXNOP
18. Ганущенко О. Клетчатка в рационах жвачных. *Животноводство России*. 2019;(10):37-43. DOI: <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.72.82.010> EDN: NESHCS
19. Филатов В. И., Филатова Е. В. Энергетическая и протеиновая ценность суданской травы в зависимости от фазы вегетации. *Вестник КрасГАУ*. 2014;(1):129-131. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21268177> EDN: RXKSAB

References

1. Nogaev A. A., Serekpaev N. A., Mukhanov N. K., Baytelenova A. A., Ashirbekova I. A. Estimation of productivity and nutritionality of poly-component mixtures and single species fodder crops in the conditions of northern Kazakhstan. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina* = Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University. 2021;(3(110)):50-60. (In Kazakhstan). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47807315>
2. Artemyev A. A., Guryanov A. M., Kapitanov M. P., Pronin A. A. Influence of the sowing time and mineral fertilizers on the productivity of annual grass mixtures. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):735-744. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.735-744>
3. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardian-Balkarian Republic. *E3S Web of Conferences*. 2021;262:01012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201012>
4. Pleskachev Yu. N., Laptina Yu. A., Gichenkova O. G., Kulikova N. A. Productivity and nutritional value of sudanese grass when cultivated for green fodder. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(8):28-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp28-33>
5. Alabushev A. V., Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Ermolina G. M. Fodder value of Sudan grass depending on the harvesting time. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4):343-350. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350>
6. Nasiyev B. N., Zhanatalapov N. Zh., Yessenguzhina A. Harvesting of sudan grass in the conditions of the western Kazakhstan region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2019;(3):45-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-323-3-45-47>
7. Biktimirov R. A., Shakirzyanov A. Kh., Nizaeva A. A. Results of selection of sudan grass and sorghum-sudan grass hybrids in the Bashkir research institute of agriculture. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN* = Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre. 2018;(3-6):51-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-6-3-51-53>

8. Mardvayev N. B., Shapsovich S. N. Sudan grass in Buryatia - the most extreme zone of its cultivation in Russia. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2019;26-2:10-14. (In Norway). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36920061>
9. Vozhzhova N. N., Ionova E. V., Popov A. S., Kovtunov V. V. Identification of Fertility Gene Rf1 in Collection Samples of Sorghum bicolor (L.) Moench in Southern Russia. *Biology and Life Sciences Forum*. 2021;4(1): 81. DOI: <https://doi.org/10.3390/IECPS2020-08710>
10. Popov A. S., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A., Kopman I. K., Marchenko D. M., Samofalov A. P., Fetyukhin I. V. Forecrops and sowing dates of the winter bread wheat variety 'Yubiley Dona' in the southern part of the Rostov region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2022;14(4):97-103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103>
11. Kovtunova N. A., Romanyukin A. E., Kovtunov V. V., Kravchenko N. S. Parameters of adaptability and variability of productivity and quality of sudanese grass herbage. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2022;(6):58-62. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49850753>
12. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Shishova E. A. Influence of meteorological conditions on cropping power and quality of green mass in sudan-grass. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2016;(3):39-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27284152>
13. Enchev S. Productivity and feed quality of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) and sweet sorghum forms. *Agricultural science and technology*. 2021;13(1):57-62. DOI: <https://doi.org/10.15547/ast.2021.01.011>
14. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply. *Agricultural Sciences*. 2021;13(31):81-86. DOI: <https://doi.org/10.22620/agrisci.2021.31.012>
15. Kovtunova N. A., Ermolina G. M. Usage of inheritance consistent pattern of protein content in green mass of sugar sorghum for high-protein fodder. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2012;(4):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17896693>
16. Golubina I., Naydenova Y., Enchev S., Kikindonov T., Ilieva A., Marinov-Serafimov P. Biochemical Evaluation of Forage Quality from Mutant Forms Sudan Grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.). *Journal of Ecology and Environment Sciences*. 2016;XV(4):44-51. URL: https://www.researchgate.net/publication/312039629_Biochemical_Evaluation_of_Forage_Quality_from_Mutant_Forms_Sudan_Grass_Sorghum_sudanense_Piper_Stapf
17. Dronova T. N., Burtseva N. I. The cultivation of sudan grass for feed in conditions of irrigation. *Oroshaemoe zemledelie* = Irrigated Agriculture. 2019;(3):30-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2019-3-8>
18. Ganushchenko O. Fibre in ruminant diets. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2019;(10):37-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.72.82.010>
19. Filatov V. I., Filatova E. V. Energy and protein value of sudan grass depending on the vegetation phase. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2014;(1):129-131. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21268177>

Сведения об авторах

✉ **Ковтунова Наталья Александровна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0409-5855>, e-mail: n-beseda@mail.ru

Шишова Елена Александровна, кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7406-6622>

Information about the authors

✉ **Natalia A. Kovtunova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0409-5855>, e-mail: n-beseda@mail.ru

Elena A. Shishova, PhD in Agricultural Science, junior researcher, Agricultural Research Center «Donskoy», Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, e-mail: vnizk30@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7406-6622>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние способа посева и нормы высева на формирование агроценоза и урожайность семян костреца безостого

© 2023. О. А. Тимошкин^{1✉}, В. А. Тришина²

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

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза, Российская Федерация

Раскрыть продуктивный потенциал новых сортов многолетних трав позволяет разработка научно обоснованных технологий их возделывания. В 2021-2022 гг. в условиях Пензенской области изучали нормы высева и способы посева нового сорта костреца безостого Удалец при возделывании на семена. По гидротермическому коэффициенту вегетационный период 2021 г. характеризовался как засушливый (ГТК = 0,8), 2022 г. – нормальный по влагообеспеченности (ГТК = 1,0). Лучшие показатели развития растений костреца (масса растений и корней) к концу первого года жизни получены при широкорядном способе посева с междурядьем 30 см и норме высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га. По урожаю зеленой массы и сбору сухого вещества с 1 м² в первый год жизни преимущество имел широко-рядный способ посева с междурядьем 30 см. В год пользования травостоем костреца безостого высокие показатели структуры урожая семян сформировались при широкорядном способе посева с междурядьем 30 см и норме высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га. Количество продуктивных стеблей составило – 106 шт./м², длина соцветия – 19,0 см, количество колосков в соцветии – 182 шт., масса семян с продуктивного побега – 0,78 г, масса 1000 семян – 4,26 г, что на 8,2; 8,0; 11,0; 13,0; 0,9 % соответственно превысило контрольный вариант с рядовым способом посева с междурядьем 15 см и нормой высева 6,0 млн всхожих семян на 1 га. Высокая урожайность семян костреца безостого в первый год пользования сформировалась при широкорядном способе посева с междурядьем 30 см и норме высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га (824 кг/га), превышение над контролем составило 146 кг/га, или 21,5 %. При рядовом способе посева с междурядьем 15 см наибольшую урожайность получили в контрольном варианте (6 млн всх. семян/га) – 678 кг/га. При норме высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га урожайность семян снизилась на 7,6 %.

Ключевые слова: многолетние травы, *Bromopsis inermis* Leyss., технология возделывания, биометрические показатели, структура урожая

Благодарность: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (№ FGSS-2022-0008)

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тимошкин О. А., Тришина В. А. Влияние способа посева и нормы высева на формирование агроценоза и урожайность семян костреца безостого. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):656-663. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.656-663>

Поступила: 23.01.2023

Принята к публикации: 02.08. 2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Influence of the sowing method and seeding rate on the formation of agrocenosis and seed yield of awnless brome

© 2023. Oleg A. Timoshkin^{1✉}, Varvara A. Trishina²

¹Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

²Penza State Agrarian University, Penza, Russian Federation

The development of science-based technologies of cultivation makes it possible to reveal the productive potential of new varieties of perennial grasses. In 2021-2022 in the conditions of the Penza region, there were studied the seeding rates and methods of sowing of a new variety of awnless brome Udalets when cultivated for seed. According to the hydrothermal coefficient, the growing season of 2021 was characterized as dry (HTC = 0.8), 2022 – as normal in terms of moisture supply (HTC = 1.0). The best indicators of the development of brome plants (mass of plants and roots) by the end of the first year of life were obtained using a wide-row sowing method with row spacing of 30 cm at a seeding rate of 5.0 million viable seeds per 1 ha. In terms of the yield of green mass and the collection of dry matter from 1 m² in the first year of life, the wide-row sowing method with a row spacing of 30 cm had an advantage. During the year of awnless brome grass use the best indicators of seed yield were obtained by wide-row sowing method with row spacing of 30 cm at a seeding rate of 5.0 million viable seeds per 1 ha. At the same time, the number of productive stems was 106 pcs/m², the length of the inflorescence was 19.0 cm, the number of spikelets in the inflorescence was 182 pcs., the weight of seeds from a productive shoot was 0.78 g, the weight of 1000 seeds was 4.26 g, which was 8.2; 8.0; 11.0; 13.0; 0.9 %, respectively, higher than the control variant with a row sowing method with row spacing of 15 cm at a seeding rate of 6.0 million viable seeds per 1 ha. The highest seed yield of awnless

brome in the first year of use was formed with a wide-row sowing method with row spacing of 30 cm at a seeding rate of 5.0 million viable seeds per 1 ha (824 kg/ha), the increase over the control was 146 kg/ha, or 21.5 %. By a row method of sowing with row spacing of 15 cm, a high yield was obtained in the control variant (6 million viable seeds/ha) – 678 kg/ha. With a seeding rate of 5.0 million germinating seeds per 1 ha, the seed yield decreased by 7.6 %.

Key words: *perennial grasses, Bromopsis inermis* Leyss., cultivation technology, biometric indicators, structure of yield

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2022-0008).

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

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

For citation: Timoshkin O. A., Trishina V. A. Influence of the sowing method and seeding rate on the formation of agrocenosis and seed yield of awnless brome. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):656-663. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.656-663>

Received: 23.01.2023

Accepted for publication: 02.08.2023

Published online: 30.08.2023

В современных условиях социально-экономического развития страны сельскохозяйственное производство должно ориентироваться на обеспечение адаптивности, устойчивости, ресурсосберегающей и средообразующей роли, базироваться на максимальном использовании местных агроклиматических ресурсов, биологических и экологических факторов [1, 2]. Адаптивность сельского хозяйства прежде всего связана с многолетними травами, благодаря которым обеспечивается разнообразие кормов для животных, повышается плодородие почвы, улучшается ее структура, предотвращается эрозия, нормализуется водный режим агроэкосистем, улучшается фитосанитарная обстановка и в целом повышается устойчивость и рентабельность сельского хозяйства [3, 4, 5].

Среди многолетних мятликовых трав в полевом травосеянии лесостепной зоны Среднего Поволжья наибольшее распространение имеет костреца безостого, который отличается высокой продуктивностью, хорошими кормовыми достоинствами, засухоустойчивостью, зимостойкостью, пластичностью при возделывании [6, 7, 8]. Предназначен для многолетнего сенокосного и пастбищного использования в прифермских севооборотах, в выводных полях на склоновых землях, подверженных водной эрозии почвах как в чистом виде, так и в смеси с бобовыми травами [9, 10, 11].

Доказано, что за счет внедрения в производство сортовых посевов трав при соблюдении научно обоснованных технологий их выращивания, позволяющих раскрыть продуктивный потенциал сортов, можно увеличить урожай кормовой массы на 25-30 % и более, урожайность семян – в 2-3 раза [12, 13, 14].

В 2021 г. в Государственный реестр сортов, допущенных к использованию, внесен сорт костреца безостого Удалец (патент № 9668). Регионы допуска – Средневолжский и Нижневолжский. Сорт относится к лесостепной экологической группе. Средняя за годы использования урожайность зеленой массы составила 27-33 т/га, сбор сена – 7-8 т/га, семян – 0,5-0,6 т/га, содержание сырого протеина в сухом веществе корма при азотной подкормке – 16-18 %, клетчатки не превышало 25-27 %.

Разработка сортовой технологии возделывания костреца безостого Удалец на семенные цели позволит обеспечить потребности сельхозпроизводителей в посевном материале этого нового перспективного сорта. Среди комплекса агротехнических факторов, влияющих на урожайность семян, конструирование агроценозов на основе подбора норм высева и способов посева является основополагающим [15, 16, 17].

Цель исследований – экспериментальное обоснование способов посева и норм высева костреца безостого сорта Удалец для оптимизации продукционного процесса и формирования высокой урожайности в условиях Пензенской области.

Научная новизна – разработаны основы формирования высокопродуктивных агроценозов нового сорта костреца безостого Удалец в условиях лесостепи Среднего Поволжья, установлены оптимальные нормы высева и способы посева при возделывании на семенные цели.

Материал и методы. Экспериментальную работу по определению оптимальных норм высева и способов посева костреца безостого проводили в 2021-2022 гг. на опытном поле лаборатории агротехнологий Пензенского НИИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур».

Научные исследования выполняли при закладке двухфакторного полевого опыта:

Фактор А. Способ посева: рядовой (15 см); широкорядный (30 см)

Фактор В. Норма высева на 1 га: 5,0; 6,0 млн всхожих семян.

Площадь учётной делянки 1-го порядка – 20 м², 2-го порядка – 5 м², повторность 4-кратная. За контрольный вариант принята норма высева 6 млн всхожих семян и рядовой способ посева с междурядьем 15 см.

Закладку полевых опытов, сопутствующие наблюдения, учеты проводили в соответствии с общепринятыми методиками¹. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову².

По гидротермическим условиям вегетационный период 2021 г. характеризовался как засушливый (ГТК = 0,8), 2022 г. – нормальный по влагообеспеченности (ГТК = 1,0) при значительных различиях по месяцам и декадам (табл. 1).

Таблица 1 – Гидротермический коэффициент (ГТК) и количество осадков по месяцам в период вегетации коостреца безостого (2021-2022 гг.) /

Table 1 – Hydrothermal coefficient (HTC) and amount of precipitation by month during the growing season of awnless brome (2021-2022)

| <i>Год / Year</i> | <i>Май / May</i> | <i>Июнь / June</i> | <i>Июль / July</i> | <i>Август / August</i> | <i>Сентябрь / September</i> | <i>Май-Август / May-August</i> |
|---|------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| ГТК (по Селянинову) / HTC (according to Selyaninov) | | | | | | |
| 2021 | 0,4 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 0,8 |
| 2022 | 1,4 | 1,1 | 1,5 | 0 | 2,7 | 1,0 |
| Среднегодовое / Long term average annual | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 1,3 | 1,0 |
| Количество осадков, мм / Precipitation, mm | | | | | | |
| 2021 | 19 | 72 | 54 | 67 | 42 | 212 |
| 2022 | 46 | 56 | 93 | 0 | 97 | 195 |
| Среднегодовое / Long term average annual | 44 | 53 | 63 | 49 | 46 | 209 |

Количество осадков за период «май-август» в 2021 г. составило 212 мм, в 2022 г. – 195 мм, при среднегодовом показателе – 209 мм.

Результаты и их обсуждение. Одной из составляющих элементов продуктивности многолетних трав, в первую очередь, является густота стояния побегов. Наличие оптимальной плотности травостоя – залог получения высокого урожая. Формирование заданной густоты стояния начинается, прежде всего, с прорастания семян, которое оценивается показателем полевой всхожести. В сложившихся погодных условиях начала мая полевая всхожесть по вариантам в среднем за 2021-2022 гг. составила 43,0-59,0 % (табл. 2).

Благодаря ранневесеннему сроку посева и наличию достаточного количества влаги в пахотном слое почвы в этот период, различия в показателях всхожести зависели больше от способа посева и норм высева. Установлено, что при норме высева 6,0 млн всхожих семян на 1 га получены и более высокие показатели полевой всхожести. Это связано с тем, что после посева на поверхности почвы образовалась корка (после выпавших осадков в 2021 г. и 2022 г.), что затрудняло процесс выхода coleoptiles зародыша на поверхность. Поэтому при повышенных нормах высева на каждые 10 см рядка приходилось больше проростков, что позволяло им легче пробиваться через почвенную корку.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с.; Методика проведения исследований с кормовыми культурами. Под ред. Новоселова Ю. К. и др. М.: ВИК, 1987. 198 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Таблица 2 – Формирование агроценоза костреца безостого сорта Удалец в 1-й год жизни в зависимости от способа посева и нормы высева (в среднем за 2021-2022 гг.)

Table 2 – Formation of agrocenosis of awnless brome Udalets in the first year of life, depending on the sowing method and seeding rate (average for 2021-2022)

| Способ посева / Way of sowing | Норма высева, млн всх. семян на 1 га / Seeding rate, mln germ. seeds per 1 ha | Взошло семян, шт/м ² / Germinated seeds, pcs/m ² | Всхожесть, % / Germination, % | Сохранилось, шт/м ² / Survived, pcs /m ² | Сохран- ность, % / Safety, % |
|---|---|---|----------------------------------|---|------------------------------------|
| Рядовой (15 см) / Row (15 cm) | 5,0 | 277 | 55,4 | 179 | 64,6 |
| | 6,0 | 345 | 57,5 | 215 | 62,3 |
| Широкорядный (30 см) / Wide row (30 cm) | 5,0 | 269 | 53,8 | 185 | 68,6 |
| | 6,0 | 331 | 55,2 | 218 | 65,9 |

В зависимости от способа посева всхожесть составила 55,4-57,5 % (при рядовом способе), 53,8-55,2 % (при ширококорядном).

В процессе роста и развития на проростки и молодые растения действуют многочисленные биотические и абиотические факторы, в результате чего часть растений погибает. Так, сохранность растений к концу вегетации первого года жизни составила по вариантам 62,3-68,6 %. Максимальные показатели гибели растений (т. е. минимальная сохранность растений) получили при рядовом способе посева и норме высева 6,0 млн всхожих семян на 1 га, что объясняется меньшей площадью питания растений костреца безостого, внутривидовой и межвидовой конкуренцией за питательные

вещества с сорными растениями. При ширококорядном способе посева с междурядьем 30 см сохранность составила от 68,6 % при норме высева 5,0 млн до 65,9 % при норме 6,0 млн всхожих семян на 1 га.

От мощности развития растений в первый год жизни во многом зависит количество заложившихся почек возобновления, зимостойкость растений, интенсивность весеннего отрастания, количество побегов и, как итог, урожайность зеленой массы и семян в год пользования. Поэтому важно проанализировать изучаемые факторы по их влиянию на формирование подземной массы растений, высоту растений и зеленую массу с единицы площади (табл. 3).

Таблица 3 – Биометрические и урожайные показатели растений костреца безостого сорта Удалец в 1-й год жизни в зависимости от способа посева и нормы высева (в среднем за 2021-2022 гг.)

Table 3 – Biometric and yield indicators of awnless brome Udalets plants in the first year of life, depending on the sowing method and seeding rate (average for 2021-2022)

| Способ посева (А) / Way of sowing (A) | Норма высева, млн всх. семян на 1 га (В) / Seeding rate, mln germ. seeds per 1 ha (B) | Высота растений, см / Plant height, cm | Масса 10 растений, г / Weight of 10 plants, g | Масса корней 10 растений, г / Weight of roots of 10 plants, g | Зеленая масса, кг/м ² / Green mass, kg/m ² | Сухое вещество, кг/м ² / Dry matter, kg/m ² |
|---|---|---|--|--|---|--|
| Рядовой (15 см) / Row (15 cm) | 5,0 | 34,1 | 21,0 | 2,7 | 0,38 | 0,08 |
| | 6,0 | 35,4 | 18,6 | 2,4 | 0,40 | 0,09 |
| Широкорядный (30 см) / Wide row (30 cm) | 5,0 | 35,8 | 24,2 | 3,0 | 0,45 | 0,10 |
| | 6,0 | 37,1 | 21,5 | 2,7 | 0,47 | 0,10 |
| HCP ₀₅ A / LSD ₀₅ A | | 0,07 | 0,15 | 0,12 | 0,004 | 0,004 |
| HCP ₀₅ B / LSD ₀₅ B | | 0,07 | 0,15 | 0,12 | 0,004 | 0,004 |
| HCP ₀₅ частных средних / LSD ₀₅ private medium | | 0,10 | 0,21 | 0,16 | 0,006 | 0,006 |

Высота многолетних трав в год посева во многом характеризует успешность изучаемых агромероприятий – чем более развито растение к концу вегетации, тем лучше проходил продукционный процесс. В исследованиях установлено, что в среднем за 2021-2022 гг. при рядовом способе посева высота растений составила 34,75 см (в среднем по нормам высева), в ширококрядных посевах с междурядьем 30 см она была выше на 1,7 см (НСР₀₅ по фактору А – 0,07 см).

Различия по высоте растений между вариантами с разными нормами высева были достоверными (НСР₀₅ по фактору В – 0,07 см), при разных способах посева высота растений увеличивалась с ростом нормы высева.

Масса 10 растений существенно зависела как от способа посева (увеличивалась на 3,05 г при ширококрядном), так и от нормы высева (уменьшалась на 2,55 г при ее увеличении). Наибольшее значение массы 10 растений отмечено при ширококрядном способе посева с междурядьем 30 см и норме высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га (24,2 г).

От развития корневой системы многолетних трав в год посева зависит формирование урожая в год пользования. Установлено, что в условиях вегетации 2021-2022 гг. изменение массы корней 10 растений было аналогичным изменению зеленой массы 10 растений – с увеличением ширины междурядий от 15 до 30 см масса корней 10 растений возрастала, а с увеличением нормы высева – снижалась. Различия между вариантами по способам посева и нормам высева были значимыми (НСР₀₅ по факторам А и В составила 0,12 г).

К концу вегетации первого года жизни урожайность зеленой массы костреца безостого по вариантам в среднем за 2021-2022 гг. составила 0,38-0,47 кг/м². Установлено, что более существенный прирост урожайности зеленой массы обеспечило увеличение ширины междурядий (на 0,07 кг/м²), чем нормы высева (на 0,02 кг/м²). Наиболее высокие показатели получили при ширококрядном посеве (0,46 кг/м²). Аналогичную тенденцию влияния способа посева и нормы высева семян костреца безостого выявили на показателе «сбор сухого вещества».

На элементы структуры урожайности костреца безостого в 1-й год пользования

(2022 г.) оказали влияние как изучаемые факторы, так и степень развития растений в год закладки опыта (табл. 4). Максимальное количество продуктивных стеблей с 1 м² получили в вариантах с лучшим развитием растений к концу первого года жизни – при ширококрядном способе посева (30 см) – 100 шт., при рядовом посеве (15 см) существенно ниже – 94 шт.

Отмечено значительное увеличение высоты растений костреца на 12,5 см (в среднем по нормам высева) при изменении ширины междурядья с 15 до 30 см, что вызвано большей площадью питания растений.

Длина соцветия (метелки) также зависела от изучаемых приемов возделывания. Наибольшие значения показателя получили при ширококрядном способе посева (30 см) – 18,7-19,0 см (в зависимости от нормы высева), при рядовом посеве длина метелки составила – 17,6-18,0 см.

Количество колосков в соцветии зависело в основном от способа посева – чем больше стеблей на единице площади и меньше площадь питания, тем меньше формировалось колосков в соцветии. Самые высокие значения показателя получили при ширококрядном способе посева (30 см) – 181-182 шт., минимальные – при рядовом способе (15 см) – 164 шт.

По показателю «масса семян с продуктивного побега» преимущество имел ширококрядный способ посева – 0,77-0,78 г (в зависимости от нормы высева), при рядовом способе посева продуктивность одного побега была ниже – 0,69-0,70 г (в зависимости от нормы высева).

Важным показателем, характеризующим посевные качества семян, является «масса 1000 семян». Установлено, что при рядовом посеве (15 см) масса 1000 семян была незначительно (в пределах НСР₀₅ А) ниже по сравнению с ширококрядным (30 см).

Итоговой величиной элементов структуры урожая является урожайность семян. Достаточное количество влаги в период вегетации 2022 г., ее равномерность по месяцам при близких к среднемноголетним значениям средних температур обеспечило хорошее развитие растений, завязываемость и спелость семян, что позволило получить высокую урожайность костреца безостого – 626-824 кг/га по вариантам.

Таблица 4 – Урожайность семян и элементы ее структуры в зависимости от способа посева и нормы высева костреца безостого в 1-й год пользования (2022 г.)
Table 4 – Seed yield and elements of its structure depending on the sowing method and seeding rate of awnless brome in the 1st year of use, 2022

| Способ посева (A) / Way of sowing (A) | Норма высева, млн всх. семян на 1 га (B) / Seeding rate, mln germ. seeds per 1 ha (B) | Кол-во продуктивных стеблей, шт./м ² / Number of productive stems, pcs/m ² | Высота растений, см / Plant height, cm | Длина соцветия, см / Inflorescence length, cm | Кол-во колосков в соцветии, шт. / Number of spikelets in inflorescence, pcs. | Масса семян с продуктивного побега, г / Weight of seeds from a productive shoot, g | Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g | Биологическая урожайность, кг/га / Biological yield, kg/ha | Отклонение от контроля, % / Deviation from control, % |
|--|---|--|--|---|--|--|---|--|---|
| Рядовой (15 см) / Row (15 cm) | 5,0 | 90 | 99 | 18,0 | 164 | 0,70 | 4,24 | 626 | -7,6 |
| | 6,0 | 98 | 102 | 17,6 | 164 | 0,69 | 4,22 | 678 | - |
| Ширококорядный (30 см) / Wide row (30 cm) | 5,0 | 106 | 116 | 19,0 | 182 | 0,78 | 4,26 | 824 | 21,5 |
| | 6,0 | 94 | 119 | 18,7 | 181 | 0,77 | 4,24 | 720 | 6,2 |
| НСР ₀₅ A / LSD ₀₅ A | | 0,71 | 0,82 | 0,06 | 1,41 | 0,004 | 0,08 | 5,4 | - |
| НСР ₀₅ B / LSD ₀₅ B | | 0,71 | 0,82 | 0,06 | - | 0,004 | 0,08 | 5,4 | - |
| НСР ₀₅ частных средних / LSD ₀₅ private medium | | 1,00 | 1,15 | 0,09 | 2,00 | 0,006 | 0,011 | 7,6 | - |

Анализ влияния изучаемых факторов на урожайность семян костреца позволил установить, что наиболее высокую урожайность получили при ширококорядном способе посева с междурядьем 30 см – 720-824 кг/га (в зависимости от нормы высева), превышение над контролем (вариант с нормой высева 6,0 млн/га при рядовом способе посева с междурядьем 15 см составило 42-146 кг/га, или 6,2-21,5 %.

При рядовом способе посева высокую урожайность получили в контрольном варианте (6,0 млн/га) – 678 кг/га, использование нормы высева 5,0 млн/га привело к снижению урожайности семян на 7,6 %.

Закключение. Результаты исследований позволяют сделать вывод о влиянии способов посева и норм высева семян костреца безостого сорта Удалец на формирование агроценоза (всхожесть семян, сохранность и высота растений, масса растений и корней) в первый год жизни, урожайность семян и ее структуру в год пользования травостоем.

Оптимальные условия для формирования элементов структуры и урожайности семян костреца безостого сорта Удалец в 1-й год пользования сложились при ширококорядном способе посева с междурядьем 30 см – собрали 720-824 кг/га семян, максимальная урожайность была получена при норме высева 5,0 млн. всхожих семян на 1 га, что на 21,5 % превысило контрольный вариант (рядовой способ посева с междурядьем 15 см и нормой высева 6,0 млн всх. семян на 1 га).

Список литературы

1. Акименко А. С. Формирование севооборотов и структуры посевных площадей для получения заданного количества продукции с учетом природно-ресурсного потенциала. *Земледелие*. 2020;(4):19-21. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10405> EDN: HSYVVM
2. Косолапов В. М., Пилипко С. В., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур – залог успешного развития кормопроизводства. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(4):35-37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23374009> EDN: TRMVJL
3. Иванов И. С., Золотарев В. Н., Образцов В. Н. Продуктивность костреца безостого в степных условиях Центрального Черноземья России. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021;(14),4,71:58-64. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_58 EDN: CZIRDH
4. Razgulyaeva N. V., Kostenko N. Y., Putsa N. M., Blagoveshenskaya E. Y. Breeding of perennial forage crops for disease resistance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;901(1):012013. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012013>
5. Vogel K. P., Moore K. J., Moser L. E. Bromegrass. In: L. E. Moser, D. Buxton, and M. D. Casler (eds.). *Cool-season forage grasses*. Agronomy Monograph. Asa, Madison, WI. 1996. P. 535-567. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/2097/>
6. Беляк В. Б., Тимошкин О. А., Болахнова В. И. Новые компоненты сенокосно-пастбищных смесей для лесостепной зоны. *Кормопроизводство*. 2016;(12):7-11.
7. Еряшев А. П., Козлова А. А., Еряшев П. А. Влияние жидких комплексных удобрений и регулятора роста на фотосинтетическую деятельность и продуктивность костреца безостого. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021;(2),54:27-33. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-27-33> EDN: UUAHGA
8. Casler M. D., Carlson I. T. Smooth bromegrass. In: R. F. Barnes et al. (ed). *Forages: An introduction to grass land agriculture* Iowa State University Press, Ames. 1995;1, 5th ed., pp. 313-324.
9. Бакшаев Д. Ю., Садохина Т. А., Листков В. Ю. Создание конкурентных галего-кострецовых ценозов. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020;50(2):15-22. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-2> EDN: ZLUXVA
10. Епифанова И. В., Тимошкин О. А., Лапина М. Ш. Селекция люцерны для возделывания в одновидовых и смешанных посевах в лесостепи Среднего Поволжья. *Кормопроизводство*. 2015;(9):25-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24118746> EDN: UHUOET
11. Лукашов В. Н., Исаков А. Н. Продуктивное долголетие козлятника восточного и травосмесей с его участием. *Земледелие*. 2017;(2):26-28.
12. Казарин В. Ф., Казарина А. В., Гуцалюк М. И. Оценка семенной продуктивности костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leys.) и костреца прямого (*Bromopsis erecta* Hubs.) в лесостепи Самарского Заволжья. *Кормопроизводство*. 2018;(1):33-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32322297> EDN: YMPALK
13. Казарина А. В., Абраменко И. С., Марунова Л. К. Оценка сортообразцов костреца безостого по хозяйственно-ценным признакам и свойствам в лесостепи Самарского Заволжья. *Известия Самарского научного центра Российской Академии наук*. 2019;(21),6,92:131-136. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42492583> EDN: EYYPFA
14. Кашеваров Н. И., Полюдина Р. И., Казаринова И. Н., Потапов Д. А. Новый сорт костреца безостого Флагман. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2019;(1):17-19. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/1/17-19> EDN: VTMQGM
15. Байкалова Л. П., Кривоногова Д. В., Машанов А. И. Влияние видового состава многолетних трав на отавность сенокосных травосмесей. *Достижения науки и техники АПК*. 2017;(31),11:22-25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32301716> EDN: YMEMLF
16. Пономаренко А. В., Шатский И. М. Семенная продуктивность костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leys.) в зависимости от способа посева и нормы высева. *Кормопроизводство*. 2012;(7):27-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17874911> EDN: PBEVTT
17. Хисматуллин М. М. Бобовые и бобово-злаковые многолетние травы – составная часть органического земледелия Республики Татарстан. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019;14(2):64-67. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5d3e169f50a868.00369270 EDN: XXKDMK

References

1. Akimenko A. S. Formation of crop rotations and structure of sown areas for obtaining the given quantity of product taking into account natural resource potential. *Zemledelie*. 2020;(4):19-21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10405>
2. Kosolapov V. M., Pilipko S. V., Kostenko S. I. New varieties of fodder crops is the guarantee of successful development of fodder production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(4):35-37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23374009>
3. Ivanov I. S., Zolotarev V. N., Obraztsov V. N. Productivity of awnless brome in steppe conditions of the Central chernozem region of Russia. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2021;(14),4,71:58-64. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_58

4. Razgulyaeva N. V., Kostenko N. Y., Putsa N. M., Blagoveshenskaya E. Y. Breeding of perennial forage crops for disease resistance. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;901(1):012013. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012013>
5. Vogel K. P., Moore K. J., Moser L. E. Bromegrass. In: L. E. Moser, D. Buxton, and M. D. Casler (eds.). Cool-season forage grasses. Agronomy Monograph. Asa, Madison, WI. 1996. P. 535-567. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/2097/>
6. Belyak V. B., Timoshkin O. A., Bolakhnova V. I. Novye komponenty senokosno-pastbishchnykh smesey dlya lesostepnoy zony. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2016;(12):7-11. (In Russ.).
7. Eryashev A. P., Kozlova A. A., Eryashev P. A. Influence of liquid complex fertilizers and growth regulator on photosynthetic activity and productivity of awnless brome. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(2),54:27-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-27-33>
8. Casler M. D., Carlson I. T. Smooth bromegrass. In: R. F. Barnes et al. (ed). Forages: An introduction to grass land agriculture Iowa State University Press, Ames. 1995;1, 5th ed., pp. 313-324.
9. Bakshaev D. Yu., Sadokhina T. A., Listkov V. Yu. Creating competitive galega and bromus cenoses. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2020;50(2):15-22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-2>
10. Epifanova I. V., Timoshkin O. A., Lapina M. Sh. Alfalfa breeding for cultivation in single-species and mixed swards in the forest-steppe of the Middle Volga. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2015;(9):25-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24118746>
11. Lukashov V. N., Isakov A. N. Productive longevity of eastern galega and grass mixtures with it. *Zemledelie*. 2017;(2):26-28. (In Russ.).
12. Kazarin V. F., Kazarina A. V., Gutsalyuk M. I. Seed productivity of smooth brome (*Bromopsis inermis* Leys.) and erect brome *Bromopsis erekta* Hubs.) in the forest-steppe of the Samara Trans-Volga region. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2018;(1):33-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32322297>
13. Kazarina A. V., Abramenko I. S., Marunova L. K. Evaluation of variety samples of carriable caustic by economically valuable signs and properties in forest steppe of Samara Volga region. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019;(21),6,92:131-136. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42492583>
14. Kashevarov N. I., Polyudina R. I., Kazarinova I. N., Potapov D. A. "Flagman" - new variety of bromus inermis. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;(1):17-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/1/17-19>
15. Baykalova L. P., Krivonogova D. V., Mashanov A. I. Influence of species composition of perennial grasses on regrow capacity of mowing mixtures. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;(31),11:22-25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32301716>
16. Ponomarenko A. V., Shatskiy I. M. Seed production of smooth brome-grass (*Bromopsis inermis* Leyss.) depending on the method of sowing and the seeding rate. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2012;(7):27-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17874911>
17. Khismatullin M. M. Legumes and legume-crop perennial grasses - a constituent part of organic farming of the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2019;14(2):64-67. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5d3e169f50a868.00369270

Сведения об авторах

✉ **Тимошкин Олег Алексеевич**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий, обособленное подразделение Пензенский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», д. 1Б, ул. Мичурина, р. п. Лунино, Пензенская обл., Российская Федерация, 442731, e-mail: info.pnz@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6928-7343>, e-mail: o.timoshkin.pnz@fncl.ru

Тришина Варвара Александровна, аспирант, ассистент кафедры «Селекция, семеноводство и биология растений», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», ул. Ботаническая, 30, г. Пенза, Российская Федерация, 440014, e-mail: penz_gau@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7668-5726>

Information about the authors

✉ **Oleg A. Timoshkin**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, separate subdivision Penza Research Institute of Agriculture, Michurin str., 1B, Lunino settlement, Penza region, Russian Federation, 442731, e-mail: info.pnz@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6928-7343>, e-mail: o.timoshkin.pnz@fncl.ru

Varvara A. Trishina, post-graduate student, assistant of the Department of Breeding, Seed production and Biology of Plants", Penza State Agrarian University, st. Botanicheskaya, 30, Penza, Russian Federation, 440014, e-mail: penz_gau@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7668-5726>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.664-671>



УДК 636.2.084.423

Влияние скармливания разных доз фитодобавки из эспарцета песчаного на рост и обмен веществ в организме телят

© 2023. Е. В. Суханова¹✉, Н. А. Морозков², Л. В. Сычёва¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», г. Пермь, Российская Федерация,

²Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

Изучали влияние скармливания растительного сырья из эспарцета песчаного, обладающего иммуностимулирующим действием, на интенсивность роста телят молочного периода, а также на морфологические и биохимические показатели крови и естественную резистентность организма животных. Телятам I и II опытных групп в дополнение к основному рациону скармливали в смеси с концентратами фитодобавку из эспарцета по 150 и 300 г на голову в сутки в течение 92 дней. Использование в кормлении телят фитодобавки обеспечило увеличение за период научно-хозяйственного опыта живой массы у животных опытных групп на 11,0 кг (6,55 %) и на 11,7 кг (6,96 %) ($p < 0,05$) по сравнению с аналогами контрольной группы. Из анализа показателей крови следует отметить, что показатели белка были выше на 1,36 % (I опытная) и на 4,74 % ($p < 0,01$) (II опытная); отмечалось повышение гемоглобина в конце опыта – на 5,88 % (I опытная) и на 12,15 % ($p < 0,01$) (II опытная). При определении показателей естественной резистентности установлено, что у телят I и II опытных групп фагоцитарная активность лейкоцитов была выше на 4,16 и 17,29 % ($p < 0,01$) соответственно, в сравнении с контрольными животными. Анализ полученных данных показал, что для применения в рационах наиболее оптимальной является доза 300 г на голову в сутки, скармливаемая телятам II опытной группы. Это подтверждается улучшением биохимических, морфологических и иммунологических показателей крови животных, а также более высокими значениями прироста их живой массы.

Ключевые слова: биологически активные вещества, естественная резистентность, живая масса, абсолютный прирост

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № АААА-А19-119032190060-4).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Суханова Е. В., Морозков Н. А., Сычёва Л. В. Влияние скармливания разных доз фитодобавки из эспарцета песчаного на рост и обмен веществ в организме телят. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):664-671. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.664-671>

Поступила: 24.04.2023

Принята к публикации: 21.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

The effect of feeding different doses of herbal supplements from Hungarian sainfoin on the growth and metabolism in the body of calves

© 2023. Elena V. Sukhanova¹✉, Nikolay A. Morozkov², Larisa V. Sycheva¹

¹Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation,

²Perm 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

There have been studied the influence of feeding plant raw material obtained from Hungarian sainfoin having an immunostimulating effect on the growth rate of dairy calves, as well as on morphological and biochemical blood parameters and natural resistance of the animal organism. Calves of the I and II experimental groups in addition to the main diet were

fed a phyto supplement made of Hungarian sainfoin mixed with concentrates in doses of 150 and 300 g per head per day during 92 days. The use of herbal supplements in feeding calves ensured an increase in live weight in the animals of experimental groups by 11.0 kg (6.55 %) and by 11.7 kg (6.96 %) ($p < 0.05$) over the period of scientific and economic experiment, compared with analogues of the control group. From the analysis of blood parameters, it should be noted that protein indicators were higher by 1.36 % (I experimental) and by 4.74 % ($p < 0.01$) (II experimental); there was an increase in hemoglobin at the end of the experiment - by 5.88 % (I experimental) and by 12.15 % ($p \leq 0.01$) (II experienced). When determining the indicators of natural resistance, it was found that in calves of experimental groups I and II, the phagocytic activity of leukocytes was higher by 4.16 and 17.29 % ($p \leq 0.01$), respectively, in comparison with control animals. Analysis of the data obtained showed that the most optimal dose for use in the diets of heifers is 300 g per head per day, fed to calves of the II experimental group. This is confirmed by the improvement of biochemical, morphological and immunological parameters of animal blood, as well as by higher values of their live weight gain.

Key words: biologically active substances, natural resistance, live weight, absolute gain

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. AAAA19-119032190060-4).

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: Sukhanova E. V., Morozkov N. A., Sycheva L. V. The effect of feeding different doses of herbal supplements from sandy esparcet on the growth and metabolism in the body of heifers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):664-671. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.664-671>

Received: 24.04.2023

Accepted for publication: 21.07.2023

Published online: 30.08.2023

В настоящее время возросли требования к качеству продукции, поэтому в животноводстве появилась задача поиска новых или хорошо забытых старых средств природного происхождения, содержащих различные биологически активные вещества, заменяющие часть антибиотиков, используемых в лечении и профилактике, а также в улучшении генетического потенциала продуктивности сельскохозяйственных животных в условиях прогрессивных технологий [1].

Еще в середине двадцатого века во всех отраслях животноводства применяли кормовые антибиотики, но со временем от них пришлось отказаться либо полностью, либо частично согласно Федеральному закону от 30.12.2021 № 463-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О ветеринарии» и Федеральный закон «Об обращении лекарственных средств», так как в организме они образовывали токсические соединения, тем самым исключая положительный эффект как для животных, так и для людей, использующих продукты их жизнедеятельности [2, 3]. В связи со сложившейся проблемой, на протяжении последнего времени идет активное исследование лекарственных растений, имеющих в своем составе витамины, флавоноиды, фенольные соединения, аминокислоты и другие биологически активные вещества [4].

Ярким представителем лекарственных растений является эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria* (KIT.) DC.) семейства бобовые. Эспарцет песчаный содержит биоло-

гически активные вещества: флавоноиды, аскорбиновую кислоту, безазотистые соединения, рутин (витамин Р), фолиевая и янтарная кислоты, которые придают эспарцету лечебные свойства [5, 6].

Безазотистые соединения благоприятно действуют на функции желудочно-кишечного тракта, что отражается на повышении всасывания питательных веществ кормов. Аскорбиновая кислота повышает иммунитет и выносливость, участвует в регуляции обмена веществ, увеличивает стрессоустойчивость. Высокое содержание аминокислот в растении ускоряет процесс восстановления организма, перенесшего различные заболевания [7, 8, 9].

Эспарцет песчаный, как корм, имеет высокое качество. Получены экспериментальные данные по испытанию этой культуры в коллекционном питомнике Пермского НИИСХ в 2012-2015 годах. Пять сортов эспарцета песчаного в среднем обеспечили сбор по 7,0-8,7 т сухого вещества с 1 га, это незначительно меньше по сравнению с люцерной изменчивой (*Medicago varia* T. Martyn.), но не уступает по этому показателю клеверу луговому (*Trifolium pratense* L.) [10].

При возделывании в условиях Пермского края, по усредненным данным за 4 года, по уровню обменной энергии и сырого протеина эспарцет песчаный не уступал клеверу луговому и люцерне изменчивой. По данным Пермского НИИСХ, эспарцет песчаный, как и все многолетние бобовые травы, при соблюдении сроков уборки трав обеспечивает полу-

чение корма с содержанием сырого протеина в пределах 13,8-19,2 % в а.с.в. (абсолютно сухое вещество). По содержанию сахара эспарцет песчаный превосходил вышеуказанные бобовые кормовые культуры в 1,5-2,0 раза, а особенно в 2014 году это превышение составило 3,6-4,0 раза в первом и 5-6 раз – во втором укосах [11, 12].

Из-за низкого качества травяных кормов, используемых в кормлении сельскохозяйственных животных, их генетический потенциал реализуется лишь на 40 %. Следовательно, употребление животными кормов, содержащих биологически активные вещества, будет иметь не только лечебный эффект, но и экономический [13, 14, 15].

Цель исследований – изучить влияние скармливания разных доз фитодобавки из эспарцета песчаного на показатели роста телят молочного периода, морфологические и биохимические показатели крови и естественную резистентность организма животных.

Новизна исследований – в условиях Пермского края подробно изучено влияние разных доз растительной фитодобавки на основе эспарцета песчаного на естественную резистентность организма телят молочного периода.

Материал и методы. Научно-хозяйственный и физиологические опыты проводили на базе учебно-опытного хозяйства «Липовая Гора» Пермского края. Для эксперимента было отобрано 30 голов телят одномесячного возраста голштинизированной чёрно-пёстрой породы, которых распределили в три аналогичные группы: контрольная и две опытных по 10 голов в каждой.

Животные всех экспериментальных групп находились в равных условиях содержания. Основной рацион (ОР) состоял из молока, сена, силоса, концентратов, минеральных добавок в соответствии со схемой кормления, принятой в хозяйстве. Животным контрольной группы давали ОР. Телята I опытной группы получали в дополнении к ОР 150 г фитодобавки на основе эспарцета песчаного на голову в сутки; II опытной группы ОР + 300 г фитодобавки на голову в сутки. Фитодобавку скармливали в смеси с концентратами в течение 92 дней.

Для изготовления фитодобавки использовалась надземная часть растения эспарцета песчаного, выращенного на опытных полях Пермского НИИСХ. Зелёную массу скашивали в утренние часы, затем высушивали в естественных условиях в хорошо проветриваемом помещении, после высушивания измельчали до состояния муки [16].

Для контроля обмена веществ в организме растущего молодняка крупного рогатого скота изучали морфологический, биохимический состав крови и показатели естественной резистентности организма. Взятие крови проводили в начале и конце опыта из яремной вены в средней трети шеи, в утренние часы – до кормления животных. Для исследований использовали стабилизированную кровь и сыворотку. Гематологические исследования проводили в условиях клинико-диагностической лаборатории на базе аккредитованного ГБУК «Пермский ВДЦ» Пермского края. Морфологический состав крови определяли на автоматическом гематологическом анализаторе Abacus junior vet (Diatron, Австрия). Биохимические показатели сыворотки крови исследовали на биохимическом анализаторе Rayto Chemray 240 (Китай) с использованием стандартных реагентов. Бактерицидную активность сыворотки крови определяли согласно методике А. Г. Шахова и др.¹ в модификации с использованием тест-культуры *Escherichia coli* K12. Оценку лизоцимной активности проводили по методике В. В. Никольского² в модификации. В качестве индикатора активности лизоцима применяли суточную культуру *Micrococcus Lysodeicticus*, выращенную при 30 °С на термостатируемой качалке в LB среде. Фагоцитарную активность лейкоцитов определяли по методу Е. А. Кост и М. И. Стенко³.

Контроль учёта живой массы подопытных телят осуществляли путём индивидуальных взвешиваний при постановке животных на опыт, а затем ежемесячно утром до кормления.

Экспериментальные данные были обработаны статистически по методике Н. А. Плохинского⁴ с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2007.

¹Шахов А. Г., Федоров Ю. Н., Панин А. Н., Масьянов Ю. Н., Рецкий М. И., Бузлама В. С. и др. Методические рекомендации по оценке и коррекции неспецифической резистентности животных. Воронеж, 2005. 62 с.

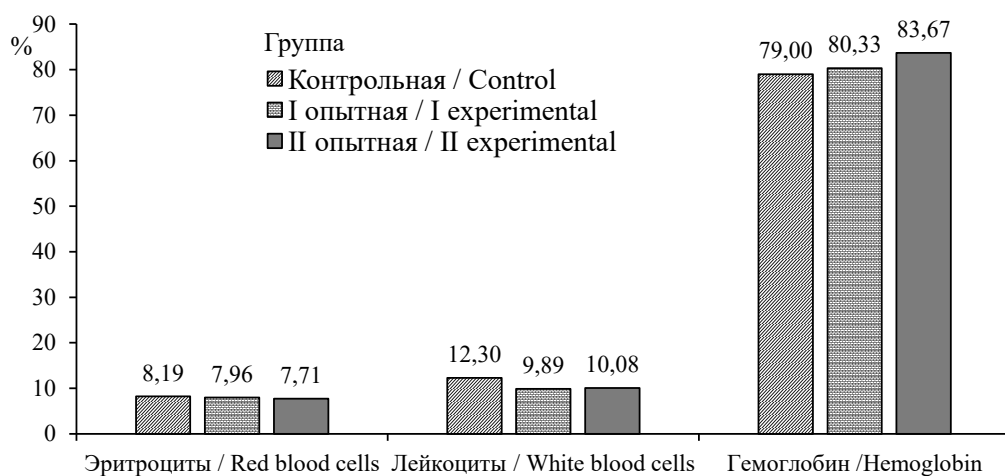
²Никольский В. В. Основы иммунитета животных. М.: Колос, 1968. 224 с.

³Кост Е. А., Стенко М. И. Определение фагоцитарной активности лейкоцитов. Клиническая гематология животных. М., 1974. 994 с.

⁴Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 256 с.

Результаты и их обсуждение. Исследования крови подопытных телят показали, что в начале опыта морфологические показате-

тели по группам не имели существенных различий и находились в пределах физиологических норм (рис. 1).



**Рис. 1. Морфологические показатели крови телят в начале эксперимента, ($M \pm m$, $n = 3$) /
Fig. 1. Morphological parameters of blood of calves at the start of the experiment, ($M \pm m$, $n = 3$)**

В конце научно-хозяйственного опыта в крови телят I и II опытных групп отмечалось повышение исследуемых показателей: эритроцитов – на 14,02 % (I опытная) и 17,42 % ($p < 0,01$) (II опытная); лейкоцитов – на 5,90 %

(I опытная) и 11,16 % (II опытная); гемоглобина – на 5,88 % (I опытная) и 12,15 % ($p < 0,01$) (II опытная) по сравнению с контрольной группой (рис. 2).

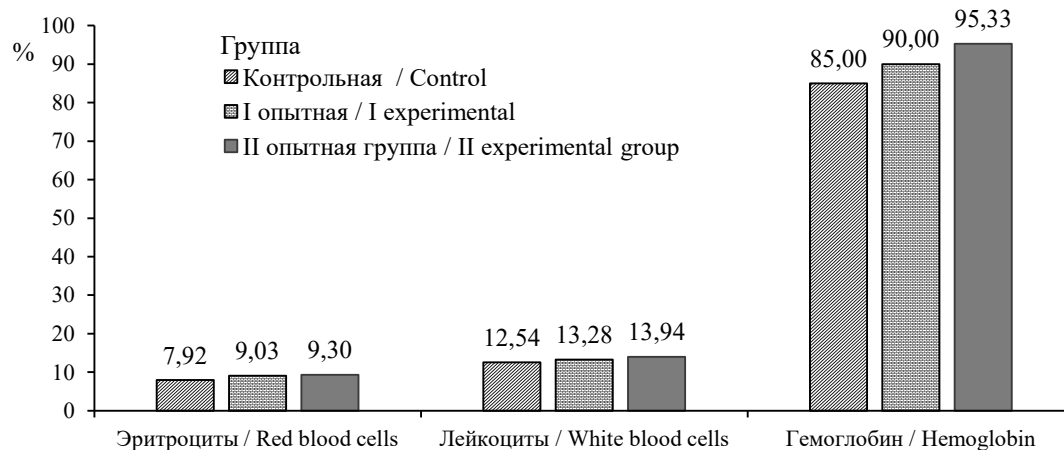


Рис. 2. Морфологические показатели крови телят после применения в рационах фитодобавки из эспарцета песчаного (конец эксперимента) ($n = 3$) /

Fig. 2. Morphological parameters of blood of calves after the use of phyto supplement made of Hungarian sainfoin in the diets (the end of the experiment) ($n = 3$)

Анализируя результаты биохимического исследования крови подопытных телят, можно сделать вывод, что уровень обмена веществ у молодняка первой и второй опытных групп был несколько выше, по сравнению с аналогами контрольной. Показатели крови по обмену белковых соединений представлены в таблице 1.

Изучение показателей обмена белков в организме подопытных животных является важной характеристикой течения обменных процессов. К концу опыта увеличилась общая концентрация белка в сыворотке крови у телят I и II опытных групп. Включение в рацион кормления молодняка опытных групп фитодобавки оказало положительное влияние на

активность белкового обмена, показатели общего белка были выше на 1,36 % (I опытная) и на 4,74 % ($p < 0,01$) (II опытная) по сравнению с контрольной. На всём протяжении исследования содержание общего кальция и неорганического фосфора в сыворотке крови опытных животных находились в пределах референсных значений. По содержанию общего кальция и неорганического фосфора в сыворотке крови

телята I и II опытных групп превосходили показатели контрольной на 0,44 и 7,11 % ($p < 0,05$), на 12,43 % ($p < 0,01$) и 15,14 % ($p < 0,01$) соответственно. В течение опыта у всех групп животных содержание холестерина было в пределах нормы, в пределах физиологических значений находились показатели аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ).

Таблица 1 – Биохимические показатели крови подопытных телят после применения в рационах фитодобавки из эспарцета песчаного ($M \pm m$, $n = 3$) /

Table 1 – Biochemical parameters of blood of experimental calves after the use of phyto supplement made of Hungarian sainfoin in the diets ($M \pm m$, $n = 3$)

| Группа / Group | Показатель / Indikator | | | | | |
|---|---|------------------|------------|-----------------------------|----------------|--------------|
| | общий белок, г/л / total protein, g/l | Ca | P | холестерин / cholesterol | АЛТ / ALT | АСТ / AST |
| | | ммоль/л / mmol/l | | | ед/л / units/l | |
| В начале опыта / At the beginning of the experiment | | | | | | |
| Контрольная / Control | 57,32±1,12 | 2,49±0,12 | 2,01±0,11 | 2,97±0,11 | 62,27±2,90 | 47,40±2,50 |
| I опытная / I experimental | 53,31±3,28 | 2,33±0,15 | 1,89±0,09 | 2,35±0,57 | 45,40±13,99 | 40,77±5,26 |
| II опытная / II experimental | 56,17±0,89 | 2,61±0,11 | 2,12±0,10 | 3,09±0,09 | 65,30±2,51 | 44,17±2,92 |
| В конце опыта / At the end of the experiment | | | | | | |
| Контрольная / Control | 64,13±0,11 | 2,25±0,01 | 1,85±0,04 | 2,16±0,02 | 69,63±0,27 | 42,78±4,05 |
| I опытная / I experimental | 65,00±0,17** | 2,26±0,01 | 2,08±0,22* | 2,24±0,07 | 70,73±0,93 | 38,17±4,48 |
| II опытная / II experimental | 67,17±0,53** | 2,41±0,16 | 2,13±0,27 | 2,14±0,02 | 69,97±0,31 | 32,63±9,90 |

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – по отношению к контрольной группе в тот же период /

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – in relation to the control group in the same period

Особое внимание имеет значение естественной резистентности исследуемых животных. Динамика полученных в опыте показателей естественной резистентности представлена на рисунке 3.

Из анализа данных рисунка 3 видно, что воздействие фитодобавки из эспарцета песчаного оказало положительное влияние на показатели естественной резистентности опытных групп, они были выше, чем у аналогов из контрольной: на 9,62 % (I опытная) и 13,92 % – бактерицидная активность; на 2,79 % (I опытная) и 10,51 % ($p < 0,05$) (II опытная) – лизоцимная; на 4,16 % (I опытная) и 17,29 % ($p < 0,05$) (II опытная) – фагоцитарная активность.

По анализу полученных экспериментальных данных можно полагать, что применение в кормлении телят фитодобавки из

эспарцета песчаного положительно отразилось на показателях крови животных опытных групп.

Живая масса является самым важным показателем, характеризующим рост и развитие животных, которая на начало опыта у исследуемых телят была практически на одном уровне (рис. 4). В конце эксперимента животные контрольной группы, которые не получали фитодобавку из эспарцета песчаного, имели ниже показатели живой массы по сравнению с I и II опытными группами: на 6,55 % ($p < 0,01$) и 6,96 % ($p < 0,01$); на 7,96 % ($p < 0,05$) и 8,18 % ($p < 0,05$) – по абсолютному приросту; на 7,22 % ($p < 0,05$) и 8,26 % ($p < 0,05$) – по среднесуточному приросту соответственно.

Исследованиями установлено, что при добавлении в рацион фитодобавки на основе эспарцета песчаного улучшаются показатели интенсивности роста животных.

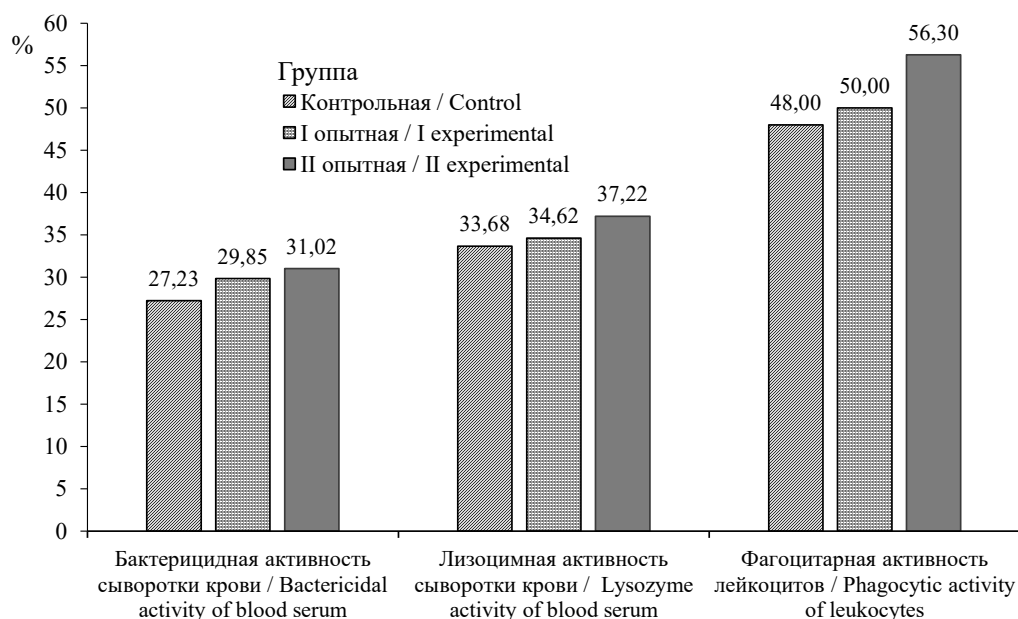


Рис. 3. Показатели естественной резистентности организма телят после применения в рационах фитодобавки из эспарцета песчаного (n = 3), % /

Fig. 3. Indicators of natural resistance of the body of calves after the use of phyto supplement made of Hungarian sainfoin in the diets (n = 3), %

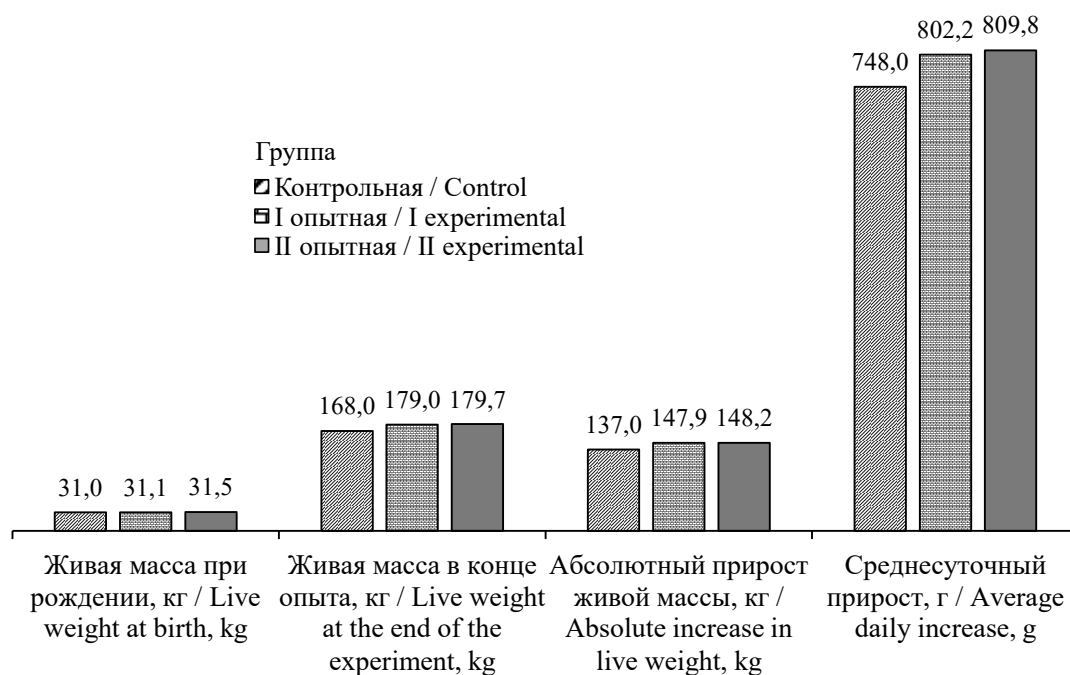


Рис. 4. Интенсивность роста подопытных животных в начале эксперимента (в среднем на 1 голову) (n = 3) /

Fig. 4. Growth rate of experimental animals at the beginning of the experiment (on average per head) (n = 3)

Заключение. Скармливание фитодобавки из эспарцета песчаного в течение 92 дней активизировало обменные процессы в организме телят. Так, показатели общего белка сыворотки крови были выше на 1,36 % (I опытная группа) и 4,74 % ($p < 0,01$) (II опытная); отмечалось

повышение уровня гемоглобина в конце опыта – на 5,88 % (I опытная) и 12,15 % ($p < 0,01$) (II опытная); фагоцитарная активность увеличилась на 4,16 % (I опытная) и 17,29 % ($p < 0,01$) (II опытная), по сравнению с аналогами контрольной группы.

Введение в основной рацион телят молочного периода выращивания фитодобавки обеспечило увеличение живой массы у животных первой и второй опытных групп на 11,0 кг (6,55 %) и на 11,70 кг (6,96 %) ($p < 0,05$) соответственно по сравнению с аналогами контрольной группы.

Таким образом, дозировка фитодобавки из эспарцета песчаного в количестве 300 г на голову в сутки обеспечила более интенсивный рост и развитие животных, что позволяет рекомендовать ее для применения в рационах телят.

Список литературы

1. 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
2. Castillo-Lopez R. I., Gutiérrez-Grijalva E. P., Leyva-López N., López-Martínez L. X., Heredia J. B. Natural alternatives to growth-promoting antibiotics (GPA) in animal production. Journal of Animal and Plant Sciences. 2017;27(2):349-359. URL: <https://thejaps.org.pk/docs/v-27-2/01.pdf>
3. Ахмедханова Р. Р., Гамидов Н. Р. Использование гидробионтов в кормлении сельскохозяйственной птицы. Проблемы развития АПК региона. 2010;1(1):73-77.
4. Казачкова Н. М. Использование природных антибиотиков в рационе сельскохозяйственных животных и птицы. Инновационные технологии в образовании и науке: сб. мат-лов Междунар. науч.-практ. конф. В 2 томах. Т. 1. Чебоксары, 2017. С. 14-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29164408> EDN: YOFIDZ
5. Kölliker R., Kempf K., Malisch C. S., Lüscher A. Promising options for improving performance and proanthocyanidins of the forage legume sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.). Euphytica. 2017;213(8):179. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1965-6>
6. Saloniemi H., Kallela K., Saastamoinen I. Study of the phytoestrogen content of goat's rue (*Galega orientalis*), alfalfa (*Medicago sativa*) and white clover (*Trifolium repens*). Agricultural and Food Science. 1993;2(6):517-524. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.72677>
7. Newsome F. E., Kitts W. D. The effects of feeding coumestrol on the reproductive organs of prepubertal lambs. Canadian Journal of Animal Science. 1980;60(1):53-58. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas80-006>
8. Hanson C. H., Loper G. M., Kohler G. O., Biokoff E. M., Taylor K. W., Kehr W. R., Stanford E. H., Dudley J. W., Pedersen M. W., Sorensen E. L., Carnahan H. L., Wilsie C. P. Variation in coumestrol content of alfalfa as related to location, variety, cutting, year, stage of growth, and disease. US Department of Agriculture. 1965;(1333):22-72. URL: <https://ageconsearch.umn.edu/record/171288/files/tb1333.pdf>
9. Oldfield J. E., Fox C. W., Bahn A. V., Bickoff E. M., Kohler G. O. Coumestrol in alfalfa as a factor in growth and carcass quality in lambs. Journal of animal science. 1966;25(1):167-174. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1966.251167x>
10. Волошин В. А. Многолетние травы коллекционного питомника Пермского НИИСХ. Кормопроизводство. 2016;(9):31-35.
11. Волошин В. А., Морозков Н. А. Сенаж из эспарцета в кормлении коров. Кормопроизводство. 2019;(8):28-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39546631> EDN: EXXDGD
12. Морозков Н. А., Суханова Е. В., Мотилинец Н. Н. Травяная мука из эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria*) в рационах молочных коров. Кормопроизводство. 2021;(2):42-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44872169> EDN: BJUFHN
13. Kiczorowska B., Samolińska W., Al-Yasiry A. R. M., Kiczorowski P., Winiarska-Mieczan A. The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review. Annals of Animal Science. 2017;17(3):605-625. URL: <https://www.mendeley.com/catalogue/a3e8699f-3635-3a36-b4e2-fb98a4a9a53a/>
14. Фисинин В. И. Генетический потенциал скота и его использование. Животноводство России. 2003;(2):2-4.
15. Прохоренко Н. П. Пути повышения интенсификации молочного скотоводства. Сельскохозяйственная наука Республики Мордовия: достижения, направления развития: мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф. Саранск, 2005. Т.2. С. 273-275.
16. Суханова Е. В., Сычева Л. В., Морозков Н. А. Эффективность скармливания фитодобавки при выращивании телят. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(2(94)):271-274. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48401200> EDN: UMRIQU

References

1. 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>
2. Castillo-Lopez R. I., Gutiérrez-Grijalva E. P., Leyva-López N., López-Martínez L. X., Heredia J. B. Natural alternatives to growth-promoting antibiotics (GPA) in animal production. Journal of Animal and Plant Sciences. 2017;27(2):349-359. URL: <https://thejaps.org.pk/docs/v-27-2/01.pdf>
3. Akhmedkhanova R. R., Gamidov N. R. The use of hydrobionts in feeding poultry. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2010;1(1):73-77. (In Russ.).

4. Kazachkova N. M. The use of natural antibiotics in the diet of farm animals and poultry. Innovative technologies in education and science: Collection of materials of the Intern. scientific-practical. conf. In 2 volumes. Vol. 1. Cheboksary, 2017. pp. 14-16. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29164408>
5. Kölliker R., Kempf K., Malisch C. S., Lüscher A. Promising options for improving performance and proanthocyanidins of the forage legume sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.). Euphytica. 2017;213(8):179. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1965-6>
6. Saloniemi H., Kallela K., Saastamoinen I. Study of the phytoestrogen content of goat's rue (*Galega orientalis*), alfalfa (*Medicago sativa*) and white clover (*Trifolium repens*). Agricultural and Food Science. 1993;2(6):517-524. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.72677>
7. Newsome F. E., Kitts W. D. The effects of feeding coumestrol on the reproductive organs of prepubertal lambs. Canadian Journal of Animal Science. 1980;60(1):53-58. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas80-006>
8. Hanson C. H., Loper G. M., Kohler G. O., Biokoff E. M., Taylor K. W., Kehr W. R., Stanford E. H., Dudley J. W., Pedersen M. W., Sorensen E. L., Carnahan H. L., Wilsie C. P. Variation in coumestrol content of alfalfa as related to location, variety, cutting, year, stage of growth, and disease. US Department of Agriculture. 1965;(1333):22-72. URL: <https://ageconsearch.umn.edu/record/171288/files/tb1333.pdf>
9. Oldfield J. E., Fox C. W., Bahn A. V., Bickoff E. M., Kohler G. O. Coumestrol in alfalfa as a factor in growth and carcass quality in lambs. Journal of animal science. 1966;25(1):167-174. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1966.251167x>
10. Voloshin V. A. Perennial grasses in the collection nursery of Perm agricultural research institute. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2016;(9):31-35. (In Russ.).
11. Voloshin V. A., Morozkov N. A. Haylage from hungarian sainfoin for cow feeding. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2019;(8):28-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39546631>
12. Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Motolinets N. N. Grass meal of hungarian sainfoin (*Onobrychis arenaria*) in cow feeding. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2021;(2):42-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44872169>
13. Kiczorowska B., Samolińska W., Al-Yasiry A. R. M., Kiczorowski P., Winiarska-Mieczan A. The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review. Annals of Animal Science. 2017;17(3):605-625. URL: <https://www.mendeley.com/catalogue/a3e8699f-3635-3a36-b4e2-fb98a4a9a53a/>
14. Fisinin V. I. Genetic potential of cattle and its usage. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2003;(2):2-4. (In Russ.).
15. Prokhorenko N. P. Ways to increase the intensification of dairy cattle breeding. Agricultural science of the Republic of Mordovia: achievements and directions: Proceedings of All-Russian scientific and practical conf. Saransk, 2005. Vol. 2. pp. 273-275.
16. Sukhanova E. V., Sycheva L. V., Morozkov N. A. Efficiency of feeding phytonutrients in calf rearing. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(2(94)):271-274. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48401200>

Сведения об авторах

✉ **Суханова Елена Валерьевна**, аспирант, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, 23, Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-1126>, e-mail: elene831@mail.ru

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, 12а, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-7843>

Сычёва Лариса Валентиновна, доктор с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, 23, Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7818-7501>

Information about the authors

✉ **Elena V. Sukhanova**, postgraduate student, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Petropavlovskaya str., 23, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-1126>, e-mail: elene831@mail.ru

Nikolay A. Morozkov, PhD in Agricultural science, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Perm Research Institute of Agriculture – Branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury str., 12a, Lobanovo village, Perm Krai, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-7843>

Larisa V. Sycheva, DSc in Agricultural science, Professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Petropavlovskaya str., 23, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7818-7501>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.672-684>

УДК 631.362



Разработка системы технического зрения технологической линии сортировки плодов яблони на основе искусственной нейронной сети

© 2023. П. П. Казакевич¹, Д. И. Комлач², А. Н. Юрин²✉

¹Президиум Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь,

²РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь

В данной статье рассмотрен процесс создания обучающей выборки искусственной нейронной сети (в дальнейшем ИНС) системы технического зрения. Обучение ИНС проводилось на основе аннотированных изображений реальных яблок, содержащих описание различных дефектов в виде отдельных полигонов посредством программы LabelMe. На изображении плода размечалось само яблоко и его помологические особенности, такие как цветоножка, плодоножка и лист, а также 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобойна и т. д. Полученные размеченные изображения плодов с дефектами сформировали эталонную обучающую выборку для ИНС. Проверку эффективности работы ИНС осуществляли путем оценки правильности распознавания изображений плодов при сравнении их с эталонными изображениями. Обучение ИНС каждому из дефектов яблок останавливали при достижении 95%-ной вероятности правильной оценки дефекта. ИНС, обученную на созданной выборке, использовали в системе технического зрения технологической линии ЛСП-4, обеспечивающей сортировку яблок на три товарных сорта по размеру и дефектам от механических повреждений, болезней и вредителей. Точность сортировки по размеру составила 75,4 %, по наличию дефектов – 73,1 %.

Ключевые слова: классификация, дефект, лист, плодоножка, чашелистик, парша, градобойна, нажим, гниль, распознавание

Благодарности: работа выполнена в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021-2025 гг.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Казакевич П. П., Комлач Д. И., Юрин А. Н. Разработка системы технического зрения технологической линии сортировки плодов яблони на основе искусственной нейронной сети. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):672-684. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.672-684>

Поступила: 15.03.2023

Принята к публикации: 21.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Development of a vision system for a technological line for sorting apple fruits based on an artificial neural network

© 2023. Petr P. Kazakevich¹, Dmitry I. Komlach², Anton N. Yurin²✉

¹Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus,

²Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, Minsk, Republic of Belarus

This article describes the process of creating a training sample of an artificial neural network (hereinafter – ANN) of a vision system. Training the ANN was carried out on the basis of annotated images of real apples containing a description of various defects in the form of separate polygons using the LabelMe program. On the image of the fruit, the apple itself and its pomological features, such as receptacle, stalk and leaf, were marked, as well as 10 different fruit defects, each of which was given an appropriate name: mesh, pressure, cut, rot, scab, hailstone, etc. The obtained labeled images of fetuses with defects formed a reference training set for the ANN. The performance of the ANN was tested by evaluating the correctness of recognition of fetal images when comparing them with reference images. Training the ANN for each of the defects in apples was stopped when 95 % of the probability of correct assessment of the defect was reached. The ANN trained on the created training sample was used in the vision system of the LSP-4 production line, which sorted apples into three commercial varieties by size and defects from mechanical damage, diseases, and pests. The accuracy of sorting by size was 75.4 %, and by the presence of defects – 73.1 %.

Keywords: classification, defect, leaf, stalk, sepal, scab, hailstone, pressure, rot, recognition

Acknowledgments: the work was carried out as part of task 5 "Develop and master the production of a technological line for sorting and packing apples" of the subprogram "Belselkhozmeckhanizatsiya-2025" of the state scientific and technical program "Innovative agro-industrial and food technologies" 2021-2025.

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: Kazakevich P. P., Komlach D. I., Yurin A. N. Development of a vision system for a technological line for sorting apple fruits based on an artificial neural network. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):672-684. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.672-684>

Received: 15.03.2023

Accepted for publication: 21.07.2023

Published online: 30.08.2023

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование, в процессе которого продукцию разделяют на сорта по качеству. Эта операция осуществляется, как правило вручную при визуальном осмотре плодов рабочими, что требует большого количества ручного труда [1, 2]. Использование автоматизированных сортировальных машин для идентификации и разделения плодов на сорта позволяет значительно повысить качество сортирования и производительность¹ [3].

Наиболее подходящим для автоматизации способом идентификации качества плодов является метод оптического контроля с использованием систем технического зрения (СТЗ), поскольку он обеспечивает высокую точность оценки качества и соответствует условиям технологии [4, 5]. В этой связи создание технического средства с СТЗ, позволяющего определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии как это делает человек, является важной агроинженерной задачей.

Цель исследования – повышение эффективности сортировки яблок посредством внедрения в производство системы технического

зрения с искусственной нейронной сетью для автоматизированной сортировки яблок по размеру и наличию дефектов.

Научная новизна – создан набор данных для глубокого обучения различных дефектов яблок и их сортировки на три товарных сорта.

Материал и методы. Предусмотрено проведение лабораторных опытов по распознаванию дефектов яблок и производственных испытаний изготовленной на основе исследований технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4. Для формирования обучающей выборки помологических особенностей и дефектов плодов использовали яблоки сортов Имант, Вербное и Глостер урожая 2020-2021 гг. производства ОАО «Остромечев», а также была создана лабораторная установка системы технического зрения.

Лабораторная установка системы технического зрения (рис. 1) включает в себя фото-модуль, состоящий из механического защищённого корпуса 1 с видеокамерой 2 и структурированной подсветкой 3, защищённого электрического шкафа 4 с вычислительным модулем 5 и сенсорной панелью управления 6.

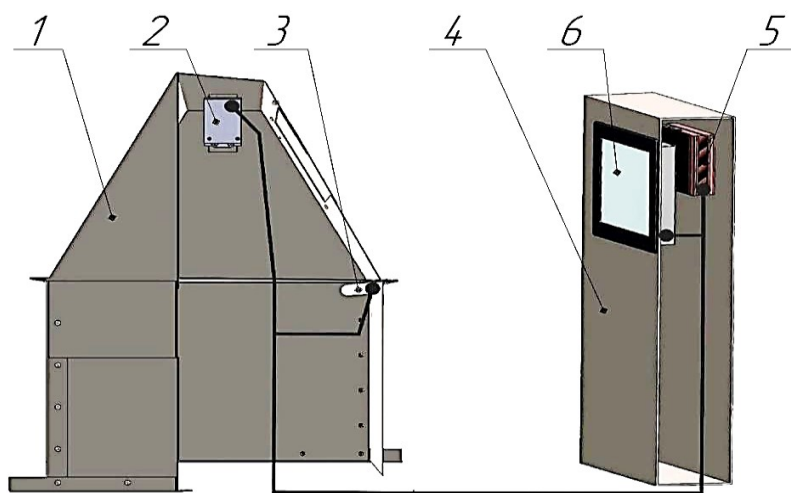


Рис. 1. Схема лабораторной установки системы технического зрения /

Fig. 1. Laboratory installation of a vision system

¹ImageNet. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.image-net.org> (дата обращения: 05.04.2018).

Применяли видеокамеру VCXU-32C фирмы Baumer с оптическим сенсором Sony Pregius CMOS площадью ПЗС-матрицы 1/1.8". Максимальное разрешение камеры составляет 2048x1536 пкс, скорость съёмки до 55 кадров/с. Видеокамера оснащена объективом AZURE-0818M3M с фокусным расстоянием $f = 8$ мм и диафрагмой F1.8.

В качестве вычислительного модуля использовали промышленный компьютер фирмы CINCOSE серии DS-1200, оснащенный процессором Intel® Core™ i7-8700 Hexa-Core с тактовой частотой до 4600 МГц, оперативной памятью DDR4 объёмом 16 ГБ и жёстким диском типа SSD объёмом 256 ГБ. На компьютере установлена операционная система Ubuntu (Linux). Управление вычислительным модулем осуществляли посредством сенсорного промышленного монитора CV-110H/M1001.

В качестве структурированной подсветки применяли светодиодные лампы, со светоди-

одами типа Smd 5050 (тепло-белого свечения), суммарной мощностью 160 Вт.

Для выделения дефектов яблок использовали программу LabelMe, установленную на персональных компьютерах лаборатории с операционной системой Windows 8.1 с пакетами PyQt5² и lxml³.

Результаты и их обсуждение. Любое устройство для сортировки плодов выполняет процессы подачи плодов, их классификации и разделения [6]. В зависимости от целей сортировки, вида продукции и требований к её выходной части, каждый из этих процессов может иметь свои особенности. Так, подачу плодов можно разделить на подпроцессы – формирование потока и транспортирование; классификацию – обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений; процесс разделения – взвод исполнительного механизма, удар и движение объекта после него (рис. 2).



Рис. 2. Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству /
Fig. 2. Functional diagram of the system for sorting fruits by quality

В данной схеме формирование потока и транспортирование являются подготовительными процессами, а подпроцессы механичес-

кого разделения – заключительными. Разделение же плодов на сорта осуществляется в процессе их классификации.

²PyQt5 PyPI. [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/PyQt5> (дата обращения: 27.03.2021).

³lxml – Processing XML and HTML with Python. [Электронный ресурс]. URL: <https://lxml.de> (дата обращения: 27.03.2021).

В настоящее время актуальным является разделение плодов не только по размеру, но и по наличию дефектов, как это делает человек [7, 8]. Для этого оптическая система контроля должна осуществлять высокоскоростную съемку плодов, распознавание дефектов, а также отслеживание плодов в режиме реального времени. При этом, если диаметр яблок можно определить исходя из геометрических размеров, получаемых видеокамерой изображений, то такие параметры, как механические повреждения и повреждения плодов болезнями и вредителями можно выявить только посредством применения аппарата глубокого обучения ИНС, в функционирование ее положен принцип распознавания изображения плодов, которые система сравнивает с запрограммированными в памяти ИНС эталонными образами, получившими название «обучающая выборка» [9, 10].

Обоснование процесса обучения искусственной нейронной сети глубокого обучения. Способность моделей глубокого обучения автоматически выделять признаки для классификации образов требует большого объема обучающих данных. Для ускорения процесса формирования обучающей выборки создаются открытые базы данных цифровых изображений. Однако при решении конкретных практических задач нередки случаи, когда в базах данных отсутствуют изображения, содержащие искомые для конкретной технической задачи эталонные

образы. Это требует использования других подходов к формированию обучающей выборки:

- 1) на основе реальных изображений;
- 2) на основе синтетических изображений;
- 3) из синтетических данных, сгенерированных на основе реальных изображений.

Практика показала, что наилучшие результаты дает метод обучения на основе реальных моделей. Поэтому обучение ИНС проводили с использованием этого метода [11, 12].

Разметка изображений для создания обучающей выборки ИНС. Обучающая выборка ИНС на основе реальных моделей формировалась поэтапно. Во-первых, было снято реальное видео движения яблок по конвейеру. Для фотографирования яблок со всех сторон, движущихся по конвейеру, придавалось вращение посредством парных роликов 3 индивидуальных кареток конвейера (рис. 3), установленных на одной оси, которые при прохождении под фотомодулем набегают на приводной ремень, придающий им вращение в направлении противоположном движению конвейера. Ролики, перемещаясь по вертикали относительно корпуса 1, поднимают яблоки с тарелок 2 и заставляют их вращаться.

Во-вторых, перед обучением ИНС осуществлялась разметка реальных изображений целых и поврежденных яблок. Для разметки изображений использовали приложение для обработки LabelMe (рис. 4)⁴ [13].

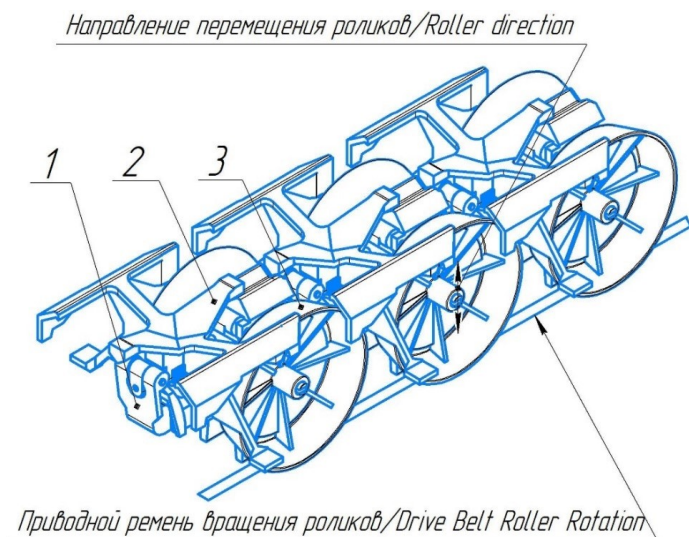


Рис. 3. Индивидуальные каретки для яблок конвейера /

Fig. 3. Separate carriages for moving apples on the conveyor

На изображении плода размечалось само яблоко (apple) и его помологические особенности, а именно цветоложе (sepal), плодоножка (stam, funnel, leg) и лист (leaf). Данные «особенности» плода не являются дефектами и

необходимы для того, чтобы ИНС в дальнейшем при работе не распознавала их как дефект и не «забраковывала» плод (табл. 1). После этого была выполнена разметка всех обнаруженных дефектов.

⁴Tzutalin. LabelImg. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/tzutalin/labelImg> (дата обращения: 18.06.2018).

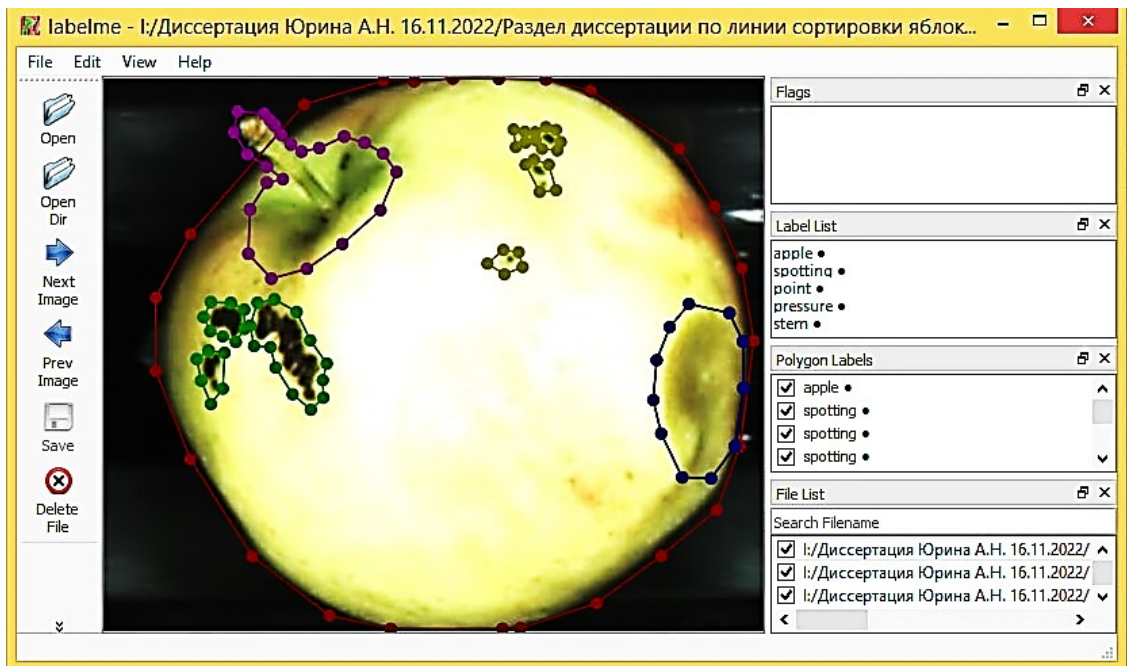
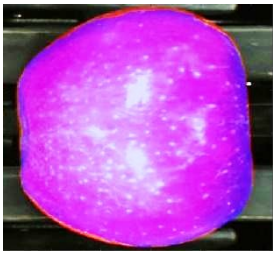
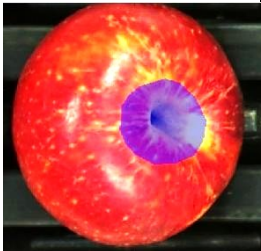
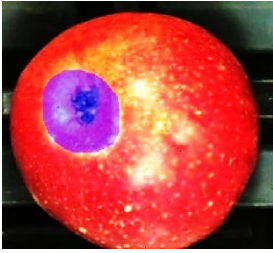





Рис. 4. Графическое окно приложения LabelMe [6] /
Fig. 4. Graphic window of the LabelMe application [6]

Таблица 1 – Помологические особенности яблок /
Table 1– Pomological features of apples



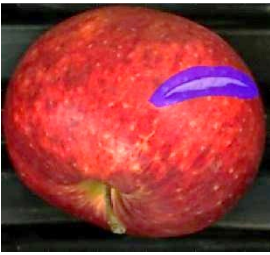

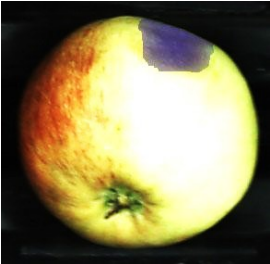





| Условное обозначение / Symbol | Наименование / Name | Фото / Photo | Условное обозначение / Symbol | Наименование / Name | Фото / Photo |
|-------------------------------------|--|---|-------------------------------------|--|---|
| Apple | Яблоко / Apple |  | Funnel | «Воронка» плодоножки без плодоножки / "Funnel" of a peduncle without a peduncle |  |
| Sepal | Цветоложе / Receptacle |  | Leg | Плодоножка без «воронки» (не видна) / Peduncle without funnel (not visible) |  |
| Stam | «Воронка» плодоножки с плодоножкой / "Funnel" of the peduncle with the peduncle |  | Leaf | Лист / Leaf |  |

Для обучения ИНС использовали 10 различных дефектов плодов, каждому из которых присваивалось соответствующее название: сетка, нажим, порез, гниль, парша, градобойна (табл. 2). Для более эффективной классификации некоторые из дефектов для обучения ИНС были разделены на несколько подклассов.

Так, заболевание паршой может проявляться как наличием мелких черных точек на поверхности плода, так и большим их скоплением, а также «бородавками» и обширной «ороговевшей поверхностью». Поэтому каждому из указанных дефектов был присвоен свой подкласс с отдельной выборкой дефектов.

Таблица 2 – Дефекты яблок /

Table 2 – Defects in apples

| Условное обозначение / Symbol | Наименование / Name | Фото / Photo | Условное обозначение / Symbol | Наименование / Name | Фото / Photo |
|-------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|
| Net | Сетка / Net |  | Point | Парша / Scab |  |
| Scratch | Порез, царапина / Cut, scratch |  | Spotting | Парша / Scab |  |
| Pressure | Нажим / Pressure |  | Wart | Парша / Scab |  |
| Hail | Градобойна / Hailstones |  | Lumps | Парша / Scab |  |
| Rot | Гниль / Rot |  | Scab | Парша / Scab |  |

Особое внимание при создании обучающей выборки уделено разделению таких классов, как нажим (pressure) и гниль (rot), так как в большинстве случаев механическое повреждение плодов с образованием гематомы в последующем приводит к образованию в этом месте загнивания. Однако, если для первого и

второго сорта плодов, в соответствии с требованиями к их качеству по СТБ 2288-2012⁵ допускается некоторое повреждение, то даже небольшое загнивание плода приводит к его выбраковке (табл. 3). То есть четко разделять эти виды повреждений яблок важно для качественной сортировки плодов.

Таблица 3 – Показатели качества выполнения технологического процесса сортировки яблок / Table 3 – Quality indicators of the technological process of sorting apples

| Наименование показателя / Name indicator | Характеристика и требования для сорта / Characteristics and requirements for the variety | | |
|---|---|---|--|
| | высшего / higher | первого / first | второго / second |
| Наибольший размер плода, мм / The largest fruit size, mm | 70-65 | 65-60 | 60-55 |
| <i>Механические повреждения / Mechanical damage:</i> | | | |
| - «градобойна» / "hailstone" | Не допускается / Not allowed | До 2 см ² / Up to 2 cm ² | 2 см ² – ¼ поверхности / 2 cm ² – ¼ surface |
| - «прокол», «порез», «нажим» / "puncture", "cut", "pressure" | | | 2-4 см ² / 2-4 cm ² |
| <i>Повреждения вредителями / Pest damage</i> | Не допускается / Not allowed | До 2 см ² / Up to 2 cm ² | 2-4 см ² / 2-4 cm ² |
| <i>Повреждения болезнями / Disease damage:</i> | | | |
| - «гниль» / "rot" | Не допускается / Not allowed | | |
| - «сетка» / "net" | Не допускается / Not allowed | До ¼ поверхности / Up to ¼ surface. | Допускается / Allowed |
| - «парша» / "scab" | | До 2 см ² / Up to 2 cm ² | 2 см ² – ¼ поверхности / 2 cm ² – ¼ surface |

На третьем этапе после формирования обучающей выборки осуществляли ее обучение ИНС. Необученная ИНС, пропуская через себя входное изображение, генерирует координаты ограничивающих прямоугольников и соответствующие им вероятности принадлежности объектов классам. Затем выход, полученный необученной ИНС, сравнивается с эталонным выходом, получая оценку схожести, и методом обратного распространения ошибки параметры нейронов ИНС корректируются таким образом, чтобы максимизировать оценку схожести.

Общее количество обработанных фотографий составило 3600 шт., в которых выделено дефектов и признаков: net – 393, scratch – 493, pressure – 2095, rot – 591, point – 2814, spotting – 426, wart – 355, lumps – 423, scab – 494, hail – 600, apple – 3600, sepal – 931, stam – 765, funnel – 530, leg – 427, leaf – 331.

Кроме обучающих данных, необходимо было также выбрать архитектуру ИНС, приемлемую для решения конкретной задачи.

Для задачи распознавания дефектов на изображениях яблок использовали детекторы, которые способны указать местоположение дефекта на изображении и его класс. Анализ работы детекторов, проведенный в работе [14], показал, что подходящей для выполняемой работы является сегментационная сеть Iraspp mobilenetV3 из пакета mmseg-mentation PyTorch. Функция потерь CrossEntropyLoss, optimizer Adam (learning rate 0.01).

Для каждого дефекта в выборке возможны 4 ситуации:

- правильное предсказание положительной метки. Такие объекты относятся к группе true positive (TP);
- ошибочное предсказание положительной метки – false positive (FP);
- правильное предсказание отрицательной метки – true negative (TN);
- ошибочное предсказание отрицательной метки – false negative (FN).

⁵СТБ 2288-2012. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия. Минск: Госстандарт, 2012. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293724/4293724338.pdf>

Для оценки качества работы детектора использовали метрики Intersection over Union (IoU) и Accuracy [6, 13, 14].

Метрика Accuracy является величиной, обозначающей долю правильных ответов алгоритма, значение которой определяли по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}$$

Метрика IoU – величина, показывающая насколько у двух объектов (эталонного и текущего) совпадает внутренняя площадь:

$$\text{IoU} = \frac{\text{pBB}}{\text{tBB}},$$

где pBB – площадь объекта, предсказанная детектором; tBB – реальная площадь объекта.

Обучение нейронной сети происходило до 400 эпох. Значения метрик для различных дефектов, распознанных нейронной сетью представлены в таблице 4.

Как видно из данных таблицы 4, наибольшие значения показателей метрик соответствуют дефектам «нажим», «гниль», «парша» в виде точек, а наименьшие – «сетка», «градобойна». Это объясняется меньшим объемом обучающей выборки именно этих дефектов яблок.

Таблица 4 – Значение метрик IoU и Accuracy для различных дефектов яблок /
Table 4 – Significance of metrics IoU and Accuracy for various defects in apples

| Класс / Class | IoU | Accuracy |
|----------------------------------|-------|----------|
| Яблоко / Apple | 0,981 | 0,975 |
| Фон / Background | 0,932 | 0,967 |
| Парша / «Point» | 0,857 | 0,874 |
| Нажим / «Pressure» | 0,744 | 0,858 |
| Градобойна / «Hail» | 0,691 | 0,785 |
| Гниль / «Rot» | 0,798 | 0,764 |
| Порез, царапина / «Scratch» | 0,774 | 0,741 |
| Парша / «Scab» | 0,815 | 0,772 |
| Парша / «Spotting» | 0,753 | 0,734 |
| Парша / «Lumps» | 0,716 | 0,758 |
| Сетка / «Net» | 0,759 | 0,682 |
| Парша / «Wart» | 0,703 | 0,697 |
| Среднее значение / Average value | 0,793 | 0,800 |

Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок обученной нейронной сетью приведены в таблице 5.

Результаты определения дефектов яблок представлены на рисунке 5.

Таблица 5 – Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок обученной нейронной сетью /
Table 5 – Values of the metric Accuracy when determining the variety of apples by the trained neural network

| Сорт яблок / Apple variety | Accuracy |
|-------------------------------|----------|
| Высший / Higher | 0,763 |
| Первый / First | 0,825 |
| Второй / Second | 0,851 |
| Бессортной / Without varietal | 0,864 |

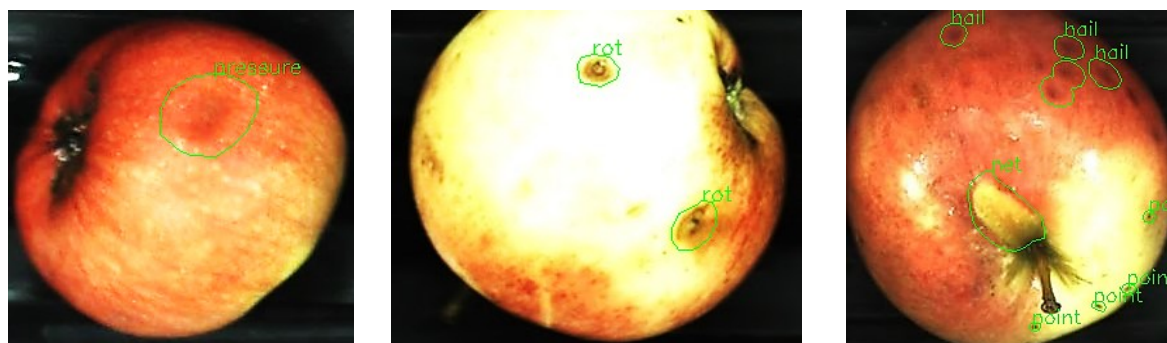


Рис. 5. Результаты определения нейронной сетью дефектов яблок /
Fig. 5. Results of determining apple defects by a neural network /

Реализация результатов исследований.
Созданная обучающая выборка использована в системе технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4,

разработанной в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [15], состоящая из двух частей: приемной (рис. 6) и сортирующей (рис. 7).

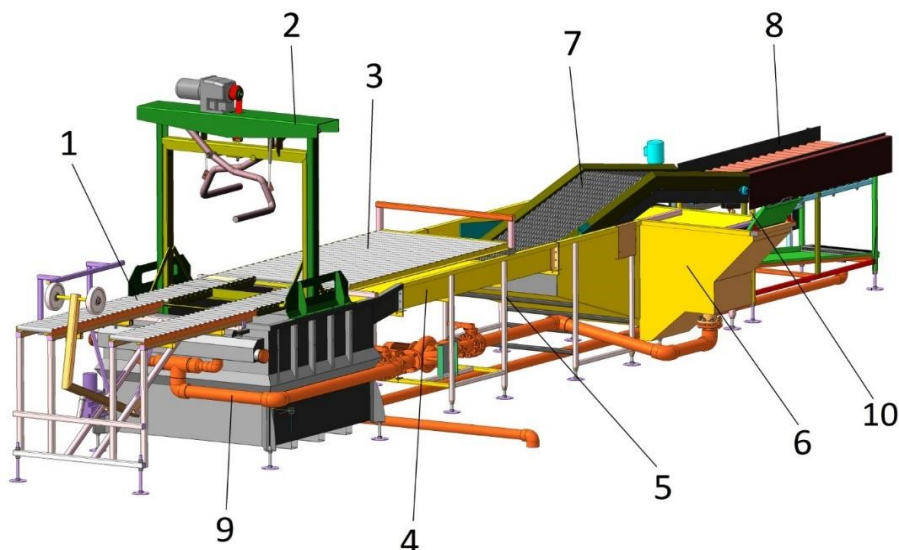


Рис. 6. Приемная часть линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4: 1 – транспортер приемный; 2 – модуль разгрузочный; 3 – ролинг; 4 – лоток; 5 – опора; 6 – ванна; 7 – горка; 8 – сушка; 9 – водовод; 10 – опора/

Fig. 6. Line for technological sorting and packaging of apples LSP-4 (receiving part): 1 – receiving conveyor; 2 – unloading module; 3 – rolling; 4 – tray; 5 – support; 6 – bath; 7 – slide; 8 – drying; 9 – conduit; 10 – support

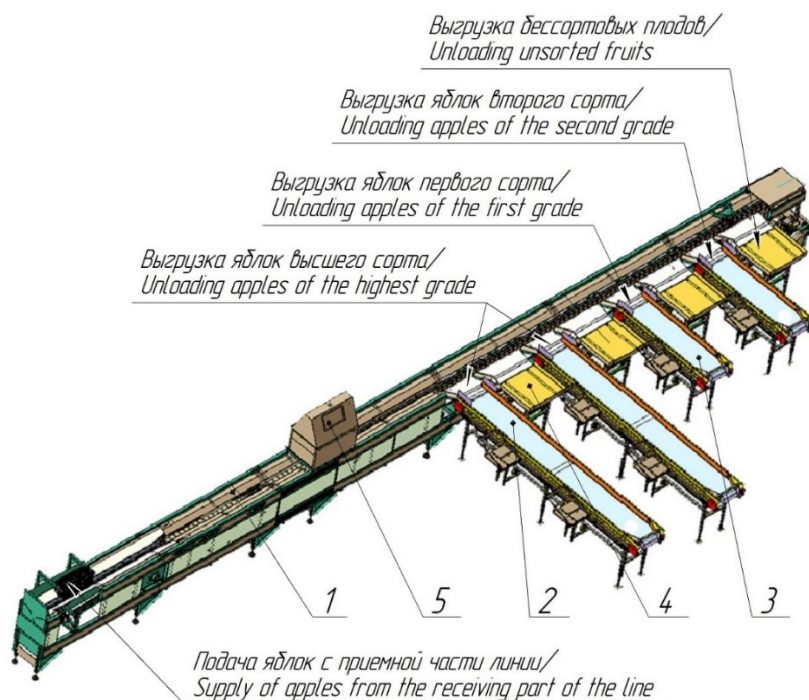


Рис. 7. Сортирующая часть линии ЛСП-4: 1 – основной конвейер; 2 и 3 – выходной транспортер; 4 – стол; 5 – система технического зрения /

Fig. 7. Sorting part of the LSP-4 line: 1 – main conveyor; 2 and 3 – output conveyor; 4 – table; 5 – system of technical vision

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является система технического зрения, состоящая из оптического модуля с видеокамерой и структурной подсветкой 1 и электронного блока управления 2 (рис. 8).

Линия обеспечивает сортировку яблок на три товарных сорта: высший, первый и второй в соответствии с показателями качества, указанными в таблице 3.

Техническая характеристика технологической линии приведена в таблице 6.



Рис. 8. Система технического зрения линии сортировки ЛСП-4: 1 – оптический модуль с видеокамерой и структурной подсветкой; 2 – электронный блок управления /

Fig. 8. Vision system sorting line LSP-4: 1 – optical module with a video camera and structural illumination; 2 – electronic control unit

Таблица 6 – Техническая характеристика линии ЛСП-4 /

Table 6 – Technical characteristics of the line LSP-4

| <i>Наименование показателя / Name of indicator</i> | <i>Значение / Meaning</i> |
|--|--|
| Количество отводящих конвейеров, шт. / Number of outfeed conveyors, pcs. | 4 |
| Скорость транспортирования плодов на основном конвейере, м/с / Fruit transportation speed on the main conveyor, m/s | 0,10-0,78 |
| Производительность за час основного времени, т* / Productivity per hour of main time, t | 1,7-2,5 |
| Параметры, по которым осуществляется сортировка / Parameters by which sorting is carried out | Размер, механические повреждения, повреждения от вредителей / Size, mechanical damage, pest damage |
| Обслуживающий персонал, чел. / Service personnel, pers. | 8 |

* зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов /

* depends on the physical and structural-mechanical properties of the fruits fed to the line

Технологический процесс линии осуществляется следующим образом. СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу управляющего сигнала исполнительному механизму сбрасывателя, осуществляющему опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

Бессортные плоды транспортируются по основному конвейеру до конца, где сбрасываются на стол устройством, обеспечивающим наклон всех транспортирующих кареток конвейера (рис. 6).

Приемочные испытания линии ЛСП-4 проведены в ОАО «Остромечово» Брестского района в 2020-2021 годах, по результатам которых получен положительный протокол от 25 февраля 2022 года № 004-1/3-2022⁶.

⁶Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февраля 2022 г. № 004-1/3-2022. ИЦ ГУ «Белорусская МИС». п. Привольный, 2022. 99 с.

Экономические показатели использования линии ЛСП-4 сравнивали с импортным аналогом – «Rollerstar CV-C3 1-7+1» фирмы «Aweta» (Голландия) и ручным трудом.

Расчет экономических показателей выполнен по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей»⁷ и показал, что годовой приведенный экономический эффект от её применения в сравнении с импортным аналогом составляет 97142,50 руб. Республики Беларусь, срок окупаемости – 4,59 года, а в сравнении с ручным трудом – 64219,00 руб. и 6,2 года соответственно.

При этом производительность труда составила 1,8 т за час основного времени, или 225 кг/ч на одного человека из обслуживающего персонала линии, что соответствует производительности «Rollerstar CV-C3 1-7+1» и в 3 раза выше производительности при ручной сортировке плодов⁸.

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру соста-

вила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 %. Наибольшая точность распознавания обеспечивается при определении дефектов «pressure» и «point» (83 и 85 % соответственно), а наименьшая – для «net» и «wart» (73 и 72 % соответственно). Очевидно, для повышения точности распознавания дефектов плодов необходимо увеличение обучающей выборки не менее чем в 2-3 раза.

Выводы. 1. Создан набор данных для глубокого обучения искусственной нейронной сети системы технического зрения для распознавания различных дефектов яблок и их сортировки на три товарных сорта.

2. Применение системы технического зрения на основе ИНС с созданной базой данных моделей реальных дефектов плодов показало высокую эффективность сортировки яблок, обеспечив точность сортирования плодов по размеру на 75,4 %, а точность по наличию дефектов – на 73,1 %.

3. Для повышения точности сортировки яблок посредством ИНС необходимо увеличение объема обучающей выборки минимум в 2-3 раза.

4. Применение линии сортировки плодов ЛСП-4 позволило обеспечить производительность труда при сортировке плодов в 3 раза по сравнению с ручным трудом.

Список литературы

1. Смирнов И. Г., Хорт Д. О., Кутырев А. И. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;15(4):35-41. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41> EDN: NDDMCH
2. Балабанов П. В., Дивин А. Г., Мищенко С. В., Макарова В. С., Марков А. В., Садомов Я. О. Роботизированный комплекс для сортировки яблок. Цифровизация агропромышленного комплекса: сб. научн. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2020. Т. II. С. 44-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45032750&pff=1> EDN: JHNDCH
3. Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J., Wojna Z. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. Cornell University Library. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016. pp. 2818-2826. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>
4. Yuzhen Lu, Renfu Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples. Transactions of the ASABE. 2017;60(4):1379-1389. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.12158>
5. Казакевич П. П., Юрин А. Н., Прокопович Г. А. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание. Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2021;59(4):488-500. DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500> EDN: WGJHOD
6. Юрин А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2022. 208 с.

⁷ТКП 151-2008 «Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей». ГУ "Белорусская МИС", 20 с. URL: <https://tnpa.by/#!/DocumentCard/219950/317397>

⁸Гусаков В. Г., Самусь В. А., Аутко А. А., Бельский А. И., Расторгуев П. В. Организационно-технологические нормы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посевного материала: сборник отраслевых регламентов. НАН Беларуси, РУНП «Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси». Минск: Беларуская навука, 2010. 520 с.

7. Хорт Д. О., Кутырев А. И., Смирнов И. Г., Филиппов Р. А., Вершинин Р. В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020;67(1(38)):133-141. DOI: <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141> EDN: BYNXCB
8. Жиркова А. А., Балабанов П. В., Дивин А. Г. Автоматизированная система гиперспектрального контроля дефектов яблок. *Современная наука: теория, методология, практика: мат-лы III Всеросс. (национ.) науч.-практ. конф.* Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А. В., 2021. С. 291-296.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45831350&selid=46177515> EDN: YXUHYM
9. Хорт Д. О., Кутырёв А. И., Филиппов Р. А., Вершинин Р. В., Смирнов И. Г. Нейронная сеть для распознавания плодов и ягод садовых культур: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020660182 Российская Федерация. № 2020619124: заяв. 14.08.2020; опублик. 28.08.2020.
10. Азаренко В. В., Комлач Д. И., Голдыбан В. В., Барановский И. А., Прокопович Г. А. Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя аграрных навук*. 2021;59(2):232-242.
DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242> EDN: CYVPGM
11. Дорохов А. С., Аксенов А. Г., Хорт Д. О., Кутырёв А. И., Тетерев А. В., Сибирёв А. В., Московский М. Н., Филиппов Р. А., Семичев С. В., Мосяков М. А. База данных спектральных изображений болезней и повреждений злаковых культур, плодов и клубней картофеля: свидетельство о регистрации базы данных № 2021620285 Российская Федерация. № 2021620155: заяв. 08.02.2021; опублик. 16.02.2021.
12. Kortylewski A., Schneider A., Gerig T., Egger B., Morel-Forster A., Vetter T. Training deep face recognition systems with synthetic data. Cornell University Library. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>
13. Huang J., Rathod V., Sun Ch., Zhu M., Korattikara A., Fathi A., Fischer I., Wojna Z., Song Ya., Guadarrama S., Murphy K. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors. Cornell University Library. 2016. URL: <https://arxiv.org/pdf/1611.10012.pdf>
14. Ganganagowdar N. V., Gundad A. V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques. *Agricultural Engineering International*. 2019;21(3):171-178.
URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5188>
15. Юрин А. Н., Викторovich В. В., Игнатчик А. А. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2022;(55):88-95.
Режим доступа: <https://mechel.belab.by/jour/article/view/707/712>

References

1. Smirnov I. G., Khort D. O., Kutyrev A. I. Intelligent Technologies and Robotic Machines for Garden Crops Cultivation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):35-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41>
2. Balabanov P. V., Divin A. G., Mishchenko S. V., Makarova V. S., Markov A. V., Sodomov Ya. O. Robotic complex for sorting apples. Digitalization of the agro-industrial complex: collection of scientific articles of the II International Scientific and Practical Conference. Tambov: *Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet*, 2020. Vol. II. pp. 44-47. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45032750&pff=1>
3. Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J., Wojna Z. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. Cornell University Library. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016. pp. 2818-2826. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>
4. Yuzhen Lu, Renfu Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples. *Transactions of the ASABE*. 2017;60(4):1379-1389.
DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.12158>
5. Kazakevich P. P., Yurin A. N., Prokopovich G. A. Technical vision system for apple defects recognition: justification, development, testing. *Vestsi Natsyynal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*. 2021;59(4):488-500. (In Belarus). DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500>
6. Yurin A. N. Innovative technological processes and technical complexes for intensive horticulture in Belarus. Minsk: *Belaruskaya navuka*, 2022. 208 p.
7. Khort D. O., Kutyrev A. I., Smirnov I. G., Filippov R. A., Vershinin R. V. Developing algorithms for a berry recognition system used in robotized harvesting of garden strawberry. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020;67(1(38)):133-141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141>
8. Zhirkova A. A., Balabanov P. V., Divin A. G. Automated System for Hyperspectral Inspection of Apple Defects. Modern science: theory, methodology, practice: Proceedings of the 3rd All-Russian (national) scientific and practical. conf. Tambov: *Izdatel'stvo IP Chesnokova A. V.*, 2021. pp. 291-296.
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45831350&selid=46177515>

9. Khort D. O., Kuttyrev A. I., Filippov R. A., Vershinin R. V., Smirnov I. G. Neural network for recognition of fruits and berries of horticultural crops: certificate of registration of a computer program no. 2020660182 RF. 2020.
10. Azarenko V. V., Komlach D. I., Goldyban V. V., Baranovskiy I. A., Prokopovich G. A. Development of mounted system for controlling row crop cultivator in automatic mode. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. 2021;59(2):232-242. (In Belarus). DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>
11. Dorokhov A. S., Aksenov A. G., Khort D. O., Kuttyrev A. I., Teterev A. V., Sibirev A. V., Moskovskiy M. N., Filippov R. A., Semichev S. V., Mosyakov M. A. Database of spectral images of diseases and injuries of cereal crops, fruits and tubers of potatoes: certificate of registration of the database no. 2021620285 RF. 2021.
12. Kortylewski A., Schneider A., Gerig T., Egger B., Morel-Forster A., Vetter T. Training deep face recognition systems with synthetic data. Cornell University Library. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>
13. Huang J., Rathod V., Sun Ch., Zhu M., Korattikara A., Fathi A., Fischer I., Wojna Z., Song Ya., Guadarrama S., Murphy K. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors. Cornell University Library. 2016. URL: <https://arxiv.org/pdf/1611.10012.pdf>
14. Ganganagowdar N. V., Gundad A. V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques. *Agricultural Engineering International*. 2019;21(3):171-178. URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5188>
15. Yurin A. N., Viktorovich V. V., Ignatchik A. A. Reducing labor costs by using the vision system when sorting apples. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* = Mechanization and Electrification of Agriculture. 2022;(55):88-95. (In Russ.). URL: <https://mechel.belal.by/jour/article/view/707/712>

Сведения об авторах

Казакевич Петр Петрович, доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси, пр. Независимости, д. 66, г. Минск, Республика Беларусь, 220072, e-mail: oan2011@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9102-2816>

Комлач Дмитрий Иванович, кандидат техн. наук, доцент, генеральный директор РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», ул. Кнорина, д. 1, г. Минск, Республика Беларусь, 220049, e-mail: info@belagromech.by, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2099-8975>

✉ **Юрин Антон Николаевич**, кандидат техн. наук, доцент, заведующий лабораторией РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», ул. Кнорина, д. 1, г. Минск, Республика Беларусь, 220049, e-mail: info@belagromech.by, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9348-8110>, e-mail: anton-jurin@rambler.ru

Information about the authors

Petr P. Kazakevich, DSc in Engineering, professor, Corresponding Member, Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, 66 Nezalezhnosti Ave., Minsk, Republic of Belarus, 220072, e-mail: oan2011@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9102-2816>

Dmitry I. Komlach, PhD in Engineering, Associate Professor. General Director of the Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, st. Knorina, 1, Minsk, Republic of Belarus, 220049, e-mail: info@belagromech.by, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2099-8975>

✉ **Anton N. Yurin**, PhD in Engineering, Associate Professor, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, st. Knorina, 1, Minsk, Republic of Belarus, 220049, e-mail: info@belagromech.by, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9348-8110>, e-mail: anton-jurin@rambler.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Применение сверточной нейронной сети для мониторинга состояния земляники садовой

© 2023. А. И. Кутырёв[✉], Р. А. Филиппов

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

В статье предложен метод повышения точности диагностирования недостатка кальция в растениях земляники садовой – применение алгоритмов машинного обучения, таких как сверточные нейронные сети (CNN), что позволяет обучить модель на наборе данных для качественного обнаружения признаков дефицита кальция на листьях. Собран набор данных (dataset) изображений здоровых листьев и с признаками недостатка кальция, использован способ искусственного увеличения объема обучающей выборки (image augmentation) путем горизонтального и вертикального отражения объектов на изображениях, поворота на заданный угол и случайного добавления «шума». Для обучения сверточной нейронной сети предложен алгоритм получения RGB-изображений с помощью роботизированной платформы. В качестве средства обнаружения признаков дефицита кальция на листьях земляники на изображениях использована современная модель нейронной сети YOLOv7. Определены гиперпараметры алгоритма машинного обучения модели YOLOv7 для распознавания областей поражения листьев земляники садовой, вызванных недостатком кальция. Для обучения модели YOLOv7 использован метод трансферного обучения (Transfer learning). Для оценки качества работы алгоритмов распознавания объектов использованы метрики mAP (mean average precision) и F1-score (F-мера), проведен расчет средней абсолютной ошибки (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) рассматриваемой модели нейронной сети YOLOv7. Анализ полученных результатов показал, что модель YOLOv7 распознала класс «Calciumdeficiency» с показателем MAPE, равным 7,52 %. Расчетное значение метрики бинарной классификации mAP составило 0,454, метрики F1-score – 0,53. Результаты исследований показали, что своевременный мониторинг состояния земляники садовой на промышленной плантации, проведенный с использованием колесной роботизированной платформы с применением сверточной нейронной сети YOLOv7 для обработки полученных данных, позволит на ранних этапах развития патологии с высокой точностью до 94,43 % определить дефицит кальция в листьях растений земляники садовой.

Ключевые слова: трансферное обучение, машинное обучение, распознавание, роботизированная платформа, поражение листьев, искусственное увеличение выборки

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2022-0011).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кутырёв А. И., Филиппов Р. А. Применение сверточной нейронной сети для мониторинга состояния земляники садовой. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):685-696.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.685-696>

Поступила: 30.03.2023

Принята к публикации: 28.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Application of convolutional neural network for monitoring the condition of strawberries

© 2023. Alexey I. Kutyrev[✉], Rostislav A. Filippov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article proposes a method for improving the accuracy of diagnosing calcium deficiency in strawberry plants, suggests the use of machine learning algorithms, such as convolutional neural networks (CNN), which makes it possible to train a model on a data set for qualitative detection of signs of calcium deficiency in the leaves. A dataset of images of healthy leaves and leaves with signs of calcium deficiency was collected, the method of artificially increasing the volume of the training sample (image augmentation) was applied, by horizontal and vertical reflection of objects in the images, rotation by a given angle and random addition of «noise». To train a convolutional neural network, an algorithm for obtaining RGB images using a robotic platform is proposed. A modern model of the YOLOv7 neural network was used as a means of detecting the signs of calcium deficiency in the leaves of strawberry in the images. The configuration of the YOLOv7 machine learning algorithm for recognizing areas of damage to strawberry leaves caused by calcium deficiency has been determined. To train the YOLOv7 model, the Transfer learning method was used. To assess the quality of the object recognition algorithms, the metric mAP (mean average precision) – 0.454 was used, the metric F1-score (F-measure) – 0.53, the average absolute error (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) of the analyzed model of the YOLOv7 neural network was calculated. The analysis of the results showed that the YOLOv7 model recognized the «Calciumdeficiency» class, with a MAPE index equal to 7.52 %. The analysis of the research results showed that timely monitoring of the condition of garden strawberries on an industrial plantation carried out using a wheeled robotic platform with the use of the YOLOv7 convolutional neural network for processing the data obtained will allow to determine calcium deficiency in the leaves of strawberry plants with high accuracy up to 94.43 % at the early stages of pathology development.

Keywords: transfer learning, machine learning, recognition, robotic platform, leaf damage, artificial increasing of sampling

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN-2022-0011).

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: Kutyrev A. I., Filippov R. A. Application of convolutional neural network for monitoring the condition of strawberries. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):685-696. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.685-696>

Received: 30.03.2023

Accepted for publication: 28.07.2023

Published online: 30.08.2023

Земляника садовая (*Fragaria x ananassa*) является одной из наиболее распространённой и имеющей высокую питательную ценность ягодной культурой, благодаря быстрому вступлению в плодоношение и раннему созреванию ягод. По данным FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the Nations)¹, в 2021 году валовой сбор ягод земляники садовой составил 237 200 тонн. По данным Росстата, в 2021 году площади возделывания ягодных культур в сельскохозяйственных организациях составили 15,8 тысяч гектара, из которых порядка 30 % занимала земляника садовая.

Продуктивность земляники садовой зависит от многих факторов, в том числе от правильных агротехнических мероприятий, своевременного мониторинга неблагоприятных факторов развития растений. Нарушение питания земляники садовой может привести к различным отклонениям в её развитии. Кальций является важным структурным компонентом клеточных мембран земляники садовой, дефицит которого приводит к общему разрушению структуры мембран и клеточных стенок. Дефицит кальция в растениях имеет очень наглядные визуальные признаки: ягоды становятся мельче, плотнее с более бледной окраской, проявляется «ожог», некроз и деформирование кончиков пораженных листьев, отмирание черешков листьев, в результате чего сокращается рост корней [1, 2]. Исследованиями ученых установлено, что недостаток кальция связан не столько с бедностью питательной среды, но и со сложностью перемещения кальция в самом растении [3, 4]. Кальций поглощается кончиками корней и перемещается с потоком транспирации в те его части, где наблюдается наибольшая степень испарения, например, в старые листья. Плоды и молодые листья пропускают меньшее количество воды и именно в этих тканях проявляются первые симптомы дефицита кальция [5, 6].

Из всех признаков недостаточного количества кальция раньше всего проявляется симптом «ожога» кончиков листьев. Исследованиями известных ученых установлено, что если

растения земляники садовой имеют менее 0,9 % кальция, то у 70-78 % молодых листьев будут наблюдаться признаки сморщенности и «ожогов» краёв листа, что приведёт к существенному сокращению площади питания листовой поверхности. Уменьшение площади питания листовой поверхности на более чем 30 % приведет к необратимым процессам развития растений. Достаточным для нормального развития растений земляники садовой является показатель кальция около 1,5 % от сухой ткани листа. Известны и другие причины «ожогов» листьев в растениях земляники садовой, такие как попадание гербицидов или распространение сокососущих вредителей, но наиболее распространенным является именно недостаток кальция [7, 8].

В настоящее время для борьбы с недостатком кальция используют комплекс агротехнических мероприятий, а именно правильное регулирование баланса влажности, условий освещённости и питания [9]. Если своевременно не устранить последствия недостатка кальция в растениях, то недобор урожая может достигнуть 10-22 %. В омертвевших частях листа может возникнуть микробная инфекция, что также является следствием недостатка кальция [10].

В связи с этим важным мероприятием в процессе возделывания земляники садовой является раннее диагностирование признаков недостатка кальция. При оценке тех или иных отклонений в развитии растений, а также поражения вредителями и болезнями применяют метод наблюдения и визуальной оценки экспертами-агрономами. Качество диагностирования зависит от квалификации специалиста и в случае ошибочной оценки приводит к большим потерям урожая. Для повышения точности диагностирования недостатка кальция в растениях земляники садовой предлагается применение алгоритмов машинного обучения, таких как нейронные сети (CNN), что позволит обучить модель на наборе данных для качественного

¹FAOSTAT Производство сельскохозяйственных культур. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL> (дата обращения: 01.03.2023).

обнаружения признаков дефицита кальция на листьях земляники садовой. Автоматизация процесса раннего мониторинга, распознавания признаков недостатка кальция в отличие от визуального диагностирования экспертами-агрономами позволит повысить точность и скорость идентификации данных нарушений развития [11].

Существует множество различных типов нейронных сетей, которые могут быть применены в сельском хозяйстве для распознавания вредителей и болезней [12, 13, 14]. Проведенный в 2023 году в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ анализ исследований показал, что в настоящее время одной из наиболее распространенных и эффективных моделей для распознавания болезней листьев является сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Networks, CNN) [15, 16]. Данные модели способны извлекать визуальные признаки из изображений, классифицировать их и автоматически находить связь между этими признаками [17].

Цель исследования – разработка метода мониторинга состояния растений земляники садовой, распознавания и классификации признаков дефицита кальция в растениях на изображениях листьев на основе сверточной нейронной сети YOLOv7 (You Only Look Once version 7) с использованием трансферного обучения (Transfer learning).

Научная новизна – разработан метод мониторинга состояния растений земляники садовой, включающий в себя способ сбора набора данных (dataset) изображений листьев земляники садовой (здоровых и с недостатком кальция) и искусственного увеличения объема обучающей выборки (image augmentation) для обучения сверточной нейронной сети YOLOv7; предложен алгоритм применения разработанной модели сверточной нейронной сети на промышленной плантации.

Материал и методы. В качестве средства обнаружения поражений листьев земляники при дефиците кальция на изображениях в проведенных нами исследованиях использована современная модель YOLOv7. Как и в предыдущих версиях моделей YOLO (YOLOv1-v5), YOLOv7 использует сверточные нейронные сети для обнаружения объектов. Однако модель YOLOv7 имеет ряд усовершенствований, которые позволяют ей обеспечивать более высокую точность и скорость работы. YOLOv7 использует более сложную архитектуру, которая включает в себя дополнительные блоки и более 100 сверточных слоев, комбинации сверточных

слоев, слоев объединения, слоев активации, слоев нормализации и слоев потерь.

Для обучения модели YOLOv7 использован метод трансферного обучения (Transfer learning). Метод заключается в использовании предварительно обученной модели для решения новой задачи. Знания, полученные моделью при решении изначальной задачи, переносятся на новую задачу, что позволяет улучшить производительность при ее решении. Используемая в исследованиях модель YOLOv7, предварительно обучена на стандартных наборах данных для задачи обнаружения объектов, таких как COCO (Common Objects in Context), ImageNet, Pascal VOC. Предварительное обучение позволяет уменьшить время обучения на целевой задаче распознавания поражений листьев земляники садовой и повысить производительность, поскольку модель уже обладает некоторой способностью к извлечению признаков, помимо этого предварительное обучение позволяет избежать риски переобучения модели.

Для обучения нейронной сети подготовлен набор данных (dataset) изображений пораженных листьев земляники садовой (класс «Calcium-deficiency»), недостаток кальция в листьях земляники садовой), листья земляники садовой без поражений (класс «Healthy leaves»). Включает в себя множество примеров (samples) – индивидуальные элементы данных и меток, определяющих категорию, класс и атрибуты, соответствующие каждому примеру. Сбор обучающего набора данных проводили путем фотографирования листьев земляники садовой RGB-камерой, установленной на роботизированной колёсной платформе, путём проезда роботизированной платформы в рядах промышленной плантации с западной и восточной стороны ряда. Платформа двигалась дискретно, останавливаясь напротив каждого растения, и делала несколько фотографий, затем движение продолжалось (рис. 1).

С помощью роботизированной платформы был собран набор данных в количестве 2000 шт. изображений. Использована камера Basler ace 2 с сенсером Sony IMX540 размером 14,6×12,6 мм, разрешение 24.4 МР, размер пикселя 2,74×2,74 мкм. Разрешение фотографий составляет 5665×4240 пикселей, фокусное расстояние 31 мм, диафрагменное число f/4. Фотографии были сделаны при ярком дневном свете, на расстоянии 10...40 см до растений. Фокусировку камеры на листьях проводили в автоматическом режиме. Освещение во время съемки составляло от 70000 до 100000 лк. Растения земляники на фотографиях имели здоровые листья и с признаками дефицита кальция.



Рис. 1. Процесс получения набора данных (изображений) с использованием роботизированной платформы /

Fig. 1. The process of obtaining a set of data (images) using a robotic platform

Для аннотирования набора данных для обучения алгоритмов машинного обучения использовано программное обеспечение с

открытым исходным кодом CVAT (Computer Vision Annotation Tool) (рис. 2).

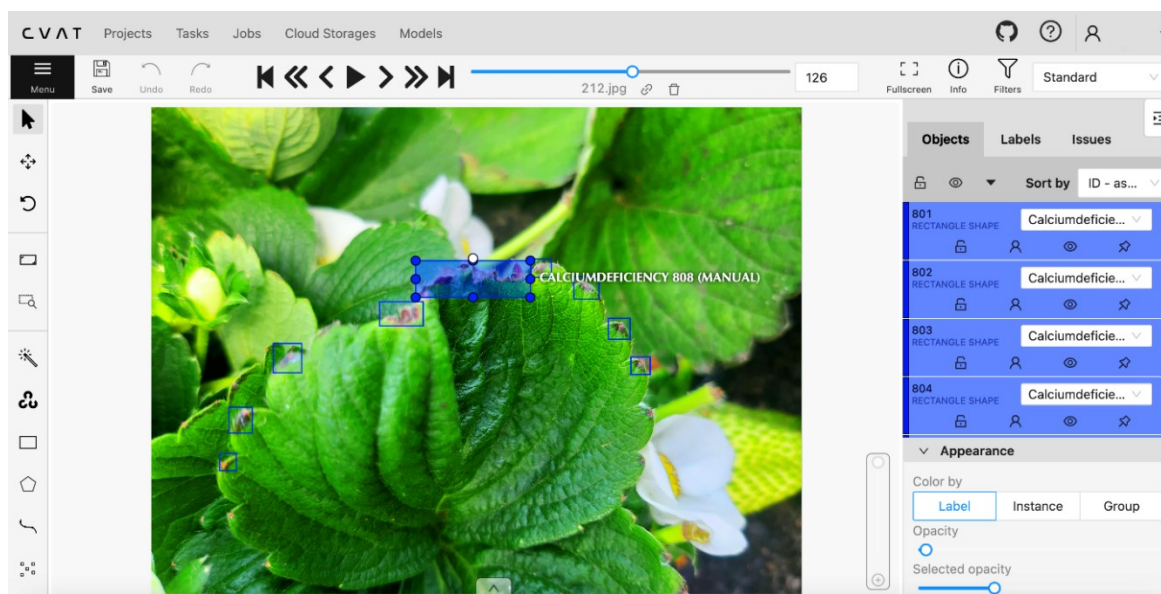


Рис. 2. Разметка данных в программном обеспечении CVAT /

Fig. 2. Data markup in CVAT software

Разметка данных проведена с помощью инструмента Rectangle (прямоугольник). Для обозначения классов объектам на изображениях присвоены метки (Label). Метка «Calcium deficiency» использована для обозначения областей на листьях земляники с недостатком кальция. Для обеспечения точности и качества, устранения возможных ошибок, связанных с интерпретацией данных, разметка проведена

экспертным методом, данные размечены специалистами в соответствующей области знаний. Процесс разметки с помощью прямоугольников включал в себя такие этапы, как загрузка изображений в программное обеспечение, разметка данных (выделение в прямоугольник объектов), классификация данных (выбор класса, который был отмечен в прямоугольнике), применение метаданных (добавления атрибутов о названии

объекта, цвете, положении), экспортирование данных в формат, необходимый для использования в обучении моделей. Для выявления ошибок и несоответствий в разметке оценки, насколько хорошо размеченный объект совпадает с его реальным положением на изображении, проведена проверка на пересечение объектов, использована известная метрика IoU (Intersection over Union) [18]. Проведено вычисление координат прямоугольника (bounding box), который полностью окружает объект на изображении. Затем эти координаты использованы для вычисления площади выделенной области.

Метрика IoU рассчитана как отношение площади пересечения к площади объединения ограничивающего прямоугольника размеченного и реального объекта:

$$\text{IoU} = \frac{\text{intersection area}}{\text{union area}}, \quad (1)$$

где intersection area – площадь пересечения между прямоугольником размеченного объекта и прямоугольником реального объекта, dpi

(количество точек на дюйм); union area – площадь объединения прямоугольника размеченного и реального объекта, dpi.

Чем выше значение метрики IoU, тем более точно размечен объект.

Для того чтобы получить правильную оценку качества обучаемой модели, данные были сбалансированы во всех выборках методами Oversampling (увеличение выборки) и аугментации (image augmentation). Для увеличения объема обучающей выборки путем создания новых изображений на основе существующих использована онлайн-платформа RoboFlow, которая позволила провести преобразования изображений, используя такие инструменты, как горизонтальное и вертикальное отражение (зеркальное отражение объектов, flip: horizontal, vertical), поворот на угол, выбранный в пределах между -15° и $+15^\circ$ (rotation: between -15° и $+15^\circ$), случайное добавление шума, введение изменений в пиксели изображения в количестве до 5 % (noise: up to 5% of pixels) (рис. 3).

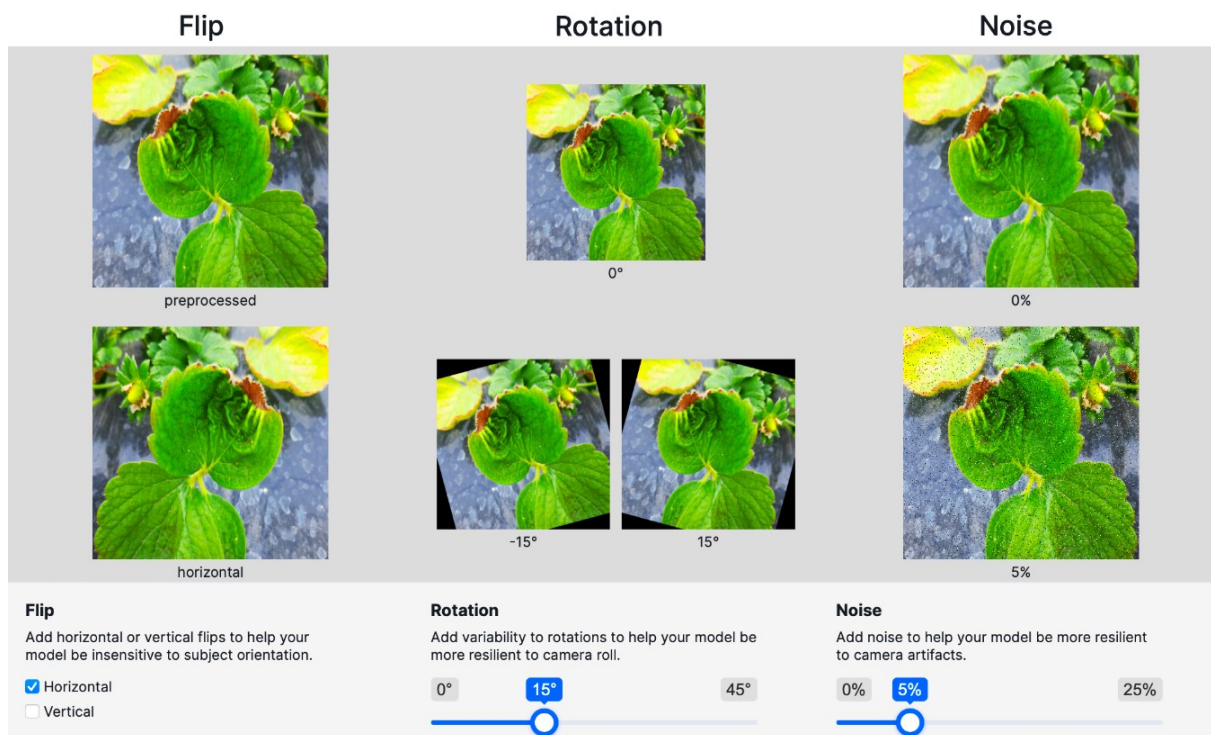


Рис. 3. Создание новых изображений на онлайн-платформе RoboFlow /
Fig. 3. Creating new images on the RoboFlow online platform

Добавление разнообразия в обучающие данные с помощью аугментации изображений позволяет модели нейронной сети адаптироваться и быть более устойчивой к «артефактам» и «шумам» на кадрах, что особенно важно для задачи, связанной с обработкой реальных данных, полученных в полевых условиях.

Аугментация изображений с помощью различных преобразований позволяет увеличить количество и разнообразие обучающих данных, что в свою очередь может помочь улучшить качество модели и повысить ее точность и надежность работы. Процесс аугментации позволил увеличить объем полученных данных

до 4800 изображений. В результате проведенных исследований, набор данных был поделен на обучающий – 4000 шт. изображений, валидационный – 400 шт. и тестовый – 400 шт. изображений. Размеченные данные, изображения здоровых и пораженных листьев земляники сохранены в формате .json (JavaScript Object Notation), который использован для обучения модели машинного обучения.

Для обучения модели использовали 100 эпох (epoch), где каждая состояла из нескольких итераций (batch), на каждой из которых модель обучалась на подвыборке тренировочных данных. Значение параметра batch, размера подвыборки данных, на которой модель обучается на каждой итерации при обучении модели, составило 16. Количество эпох было подобрано экспериментально, учитывая размер тренировочного набора данных и сложность модели. Большое количество эпох может привести к переобучению модели на тренировочных данных, что делает модель более чувствительной к шуму и случайным отклонениям в данных, что в свою очередь приводит к низким результатам распознавания объектов на новых данных. После каждой эпохи модель YOLOv7 корректировала веса (числовые параметры, определяющие число связей между нейронами), учитывая ошибки, которые были сделаны на предыдущих эпохах.

Для проведения исследований использовали вычислительную систему, оснащенную процессором Intel Core i9-10900X с 10 ядрами и 20 виртуальными потоками. Обучение модели проведено с помощью графического процессора GPU, задействованы две видеокарты NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti, в качестве материнской платы использовали GIGABYTE X299 UD4 Pro. Для хранения данных применяли накопитель SSD Intel PCI-E 1Tb 660P, а объем оперативной памяти системы составлял 32GB с использованием модулей Kingston DDR4 DIMM.

Для оценки качества работы алгоритмов распознавания объектов использована метрика mAP (mean average precision), включенная в библиотеку YOLOv7 для Python [19]. Метрика mAP учитывает не только точность (precision) обнаружения объектов (листьев земляники садовой с признаками недостатка кальция), но и полноту (recall) алгоритма. Она представляет собой среднее значение точности для разных значений порога (threshold) нахождения объектов:

$$mAP = \frac{(AP_1 + AP_2 + \dots + AP_n)}{n}, \quad (2)$$

где n – количество классов объектов, которые должны быть обнаружены алгоритмом, шт., AP_1, AP_2, \dots, AP_n – average precision (средняя точность) для каждого класса.

Метрика Precision – доля правильно определенных положительных объектов относительно всех объектов, которые классификатор определил как положительные, получена:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}. \quad (3)$$

Метрика Recall – доля правильно определенных положительных объектов относительно всех положительных объектов в данных, найдена по формуле:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (4)$$

где TP (True Positive) – количество правильно определенных объектов как положительные; FP (False Positive) – количество неправильно определенных объектов как положительные; FN (False Negative) – количество неправильно определенных объектов как отрицательные.

Мера точности и полноты классификационной модели определена с помощью метрики F1-score (F-мера), которая представляет собой гармоническое среднее между точностью (precision) и полнотой (recall) модели, используется для оценки качества бинарной классификации, находится по формуле:

$$F1\text{-score} = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}. \quad (5)$$

Для оценки вероятности того, что модель правильно определила область поражения на листьях земляники садовой на изображении использован показатель Confidence (доверительность). В модели YOLOv7 Confidence представлен как значение вероятности присутствия объекта классификации в bounding box (в прямоугольнике), а также вероятности правильной классификации этого объекта. Показатель Confidence определяли по формуле:

$$Confidence = Pr(object) \cdot IoU(bbox, object), \quad (6)$$

где $Pr(object)$ – вероятность наличия объекта в рамке (bounding box), $IoU(bounding\ box, object)$ – значение Intersection over Union (IoU) между рамкой и реальным объектом в ней.

Для расчета mAP использована кривая precision-recall, которая строится на основе результатов алгоритма обнаружения объектов. После построения кривой precision-recall вычисляется площадь под ней (average precision, AP).

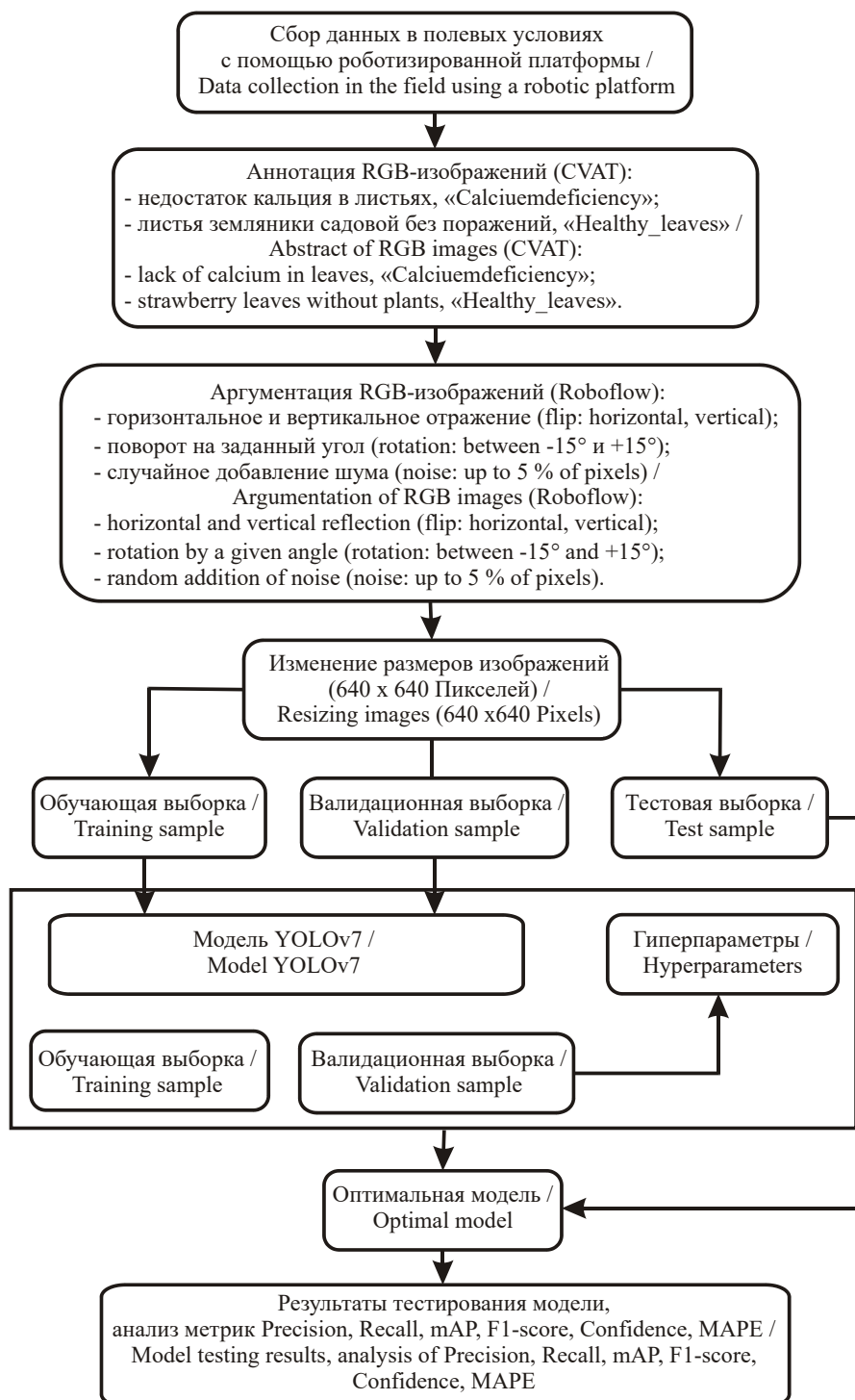


Рис. 4. Алгоритм применения сверточной нейронной сети для мониторинга состояния листьев земляники садовой /

Fig. 4. Algorithm of application of convolutional neural network for monitoring the condition of strawberries

Для оценки точности прогноза идентификации листьев земляники садовой с недостатком кальция проводили расчет средней абсолютной ошибки (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) анализируемой модели нейронной сети YOLOv7, используя формулу:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^K \left| \frac{\Phi_i - \Pi_i}{\Phi_i} \right|, \quad (7)$$

где Φ_i — фактическое количество изображений класса Calciuemdeficiency на тестовой выборке, шт. (классифицированных визуальным методом экспертами-агрономами);

Π_i — количество изображений класса Calciuemdeficiency, верно идентифицированных с помощью модели нейронной сети, шт.

Использование метрик обосновано многолетними исследованиями по применению методов и алгоритмов машинного обучения известными учеными [18, 19], расчеты проведены в соответствии с ГОСТ Р 70462.1-2022².

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований разработан алгоритм применения сверточной нейронной сети YOLOv7 для мониторинга состояния листьев земляники садовой (рис. 4).

Алгоритм включает в себя операции по сбору набора данных в полевых условиях, аннотацию полученного набора данных

(изображений), аргументацию изображений, обучение и тестирование сверточной нейронной сети YOLOv7.

Проведено трансферное обучение модели YOLOv7 на 4000 шт. изображений обучающего набора данных. Тестовый набор данных с пораженными листьями земляники садовой и без поражения в количестве 400 шт. использован для анализа качества работы модели. Примеры распознавания поражений листьев земляники садовой на изображениях с помощью обученной модели с выделением областей поражения в рамку представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Примеры распознавания поражений листьев земляники садовой на изображениях с помощью обученной модели YOLOv7 /

Fig. 5. Examples of recognition of strawberry leaf damage in images using a trained YOLOv7 model

Для оценки полученных значений точности и полноты при изменении порога для принятия решения в задаче бинарной классификации построена кривая Precision-Recall (точность-полнота) (рис. 6). Анализ графика Precision-Recall позволил установить порог классификации 0,39, который обеспечивает наилучшее соотношение между точностью и полнотой.

Для оценки качества работы нейронной сети построены кривые Precision-Confidence и Recall-Confidence, которые отражают зависи-

мость точности и полноты предсказаний модели от уровня достоверности, используемого для принятия решения о наличии объекта на изображении (рис. 7). Анализ кривых позволил оценить оптимальный уровень достоверности для модели, который составил 0,57. Показатель обеспечивает оптимальную точность и полноту предсказаний класса Calciumdeficiency поражения листьев земляники садовой при минимальном количестве ложных срабатываний модели нейронной сети.

²ГОСТ Р 70462.1-2022. Информационные технологии. Интеллект искусственный. Оценка робастности нейронных сетей. Ч.1. Обзор. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 32 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/790/79058.pdf>

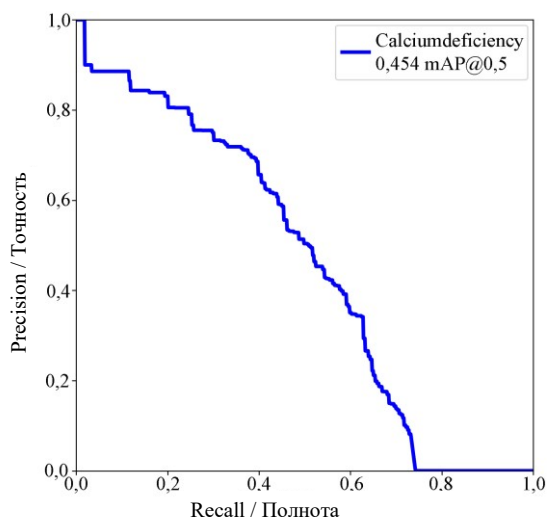


Рис. 6. Кривая оценки точности и полноты
Precision-Recall /
Fig. 6. Precision-Recall Curve

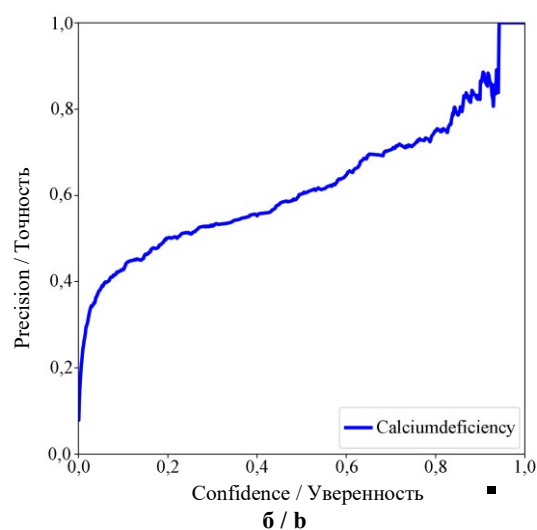
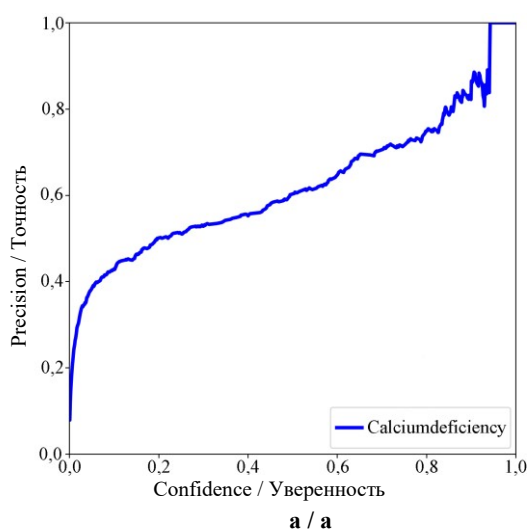


Рис. 7. Кривые оценки качества работы нейронной сети: а – кривая Precision-Confidence, б – кривая Recall-Confidence /
Fig. 7. Neural network quality assessment curves: а – Precision-Confidence curve, б – Recall-Confidence curve

Полученный F1-Confidence график позволил оценить, как изменение уровня уверенности модели влияет на объединенные метрики точности и полноты, способность правильно классифицировать объекты и выбрать оптимальный порог для принятия решения о классификации, который составил 0,54 (рис. 8). F1-Confidence график показывает, как модель реагирует на различные уровни шума или наличие выбросов в данных. Например, если на графике наблюдается резкий спад F1-меры при увеличении уровня уверенности модели, то это может свидетельствовать о том, что модель слишком чувствительна к шуму или выбросам в данных, и необходимо провести дополнительную обработку данных или внести изменения в алгоритм обучения модели.

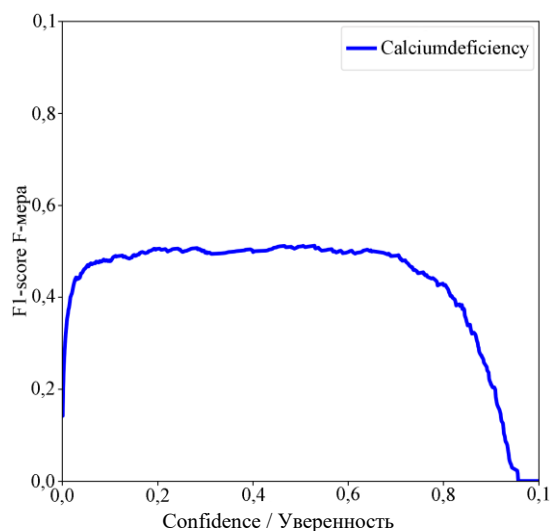


Рис. 8. Кривая оценки качества работы нейронной сети F1-Confidence на объединенные метрики точности (precision) и полноты (recall) /
Fig. 8. The curve for evaluating the quality of the F1-Confidence neural network on the combined metrics of precision and recall

Для анализа изменений значения функции потерь модели в процессе обучения в зависимости от количества эпох построен график Objectness-Epoch (рис. 9, а). График позволил оценить оптимальное количество эпох, необходимых для достижения максимального качества обнаружения объектов и исключения переобучения модели, которое составило 89. Полученный Вох-Epoch график отображает изменение метрики mAP, которая оценивает качество определения координат ограничивающих рамок объектов на каждой эпохе обучения модели (рис. 9, б). Вох-Epoch график позволил определить оптимальное количество эпох обучения, при котором достигается наилучшее качество определения координат ограничивающих рамок объектов, которое составило 83. Для оценки изменения показателей точности и полноты в зависимости от эпохи в процессе обучения модели построены кривые Precision-Epoch и Recall-Epoch (рис. 9, в, г) Для оценки изменения средней точности модели в зависимости от количества эпох в процессе обучения модели построена кривая mAP-Epoch (рис. 9, д). Анализ кривых Precision-Epoch, Recall-Epoch, mAP-Epoch позволил определить количество эпох, когда модель достигает наилучшего

сочетания точности и полноты и выбрать наилучшие гиперпараметры для достижения наилучшей производительности модели и максимальной точности детектирования класса «Calciumdeficiency», выделения областей на листьях земляники с недостатком кальция, которое составило 52. Общее время обучения модели YOLOv7 при использовании CPU составило 9 час 9 минут 8 секунд.

Анализ полученных графиков (рис. 9, а-д) позволил установить оптимальные параметры настройки нейронной сети YOLOv7, выбрать порог уверенности, на котором модель показывает оптимальную точность и полноту, сбалансированную с количеством обнаруженных объектов. Определена конфигурация алгоритма машинного обучения модели YOLOv7 для распознавания областей поражения листьев земляники садовой с признаками недостатка кальция, класс «Calciumdeficiency»: скорость обучения (learning rate) – 0,01 LR (learning rate), количество эпох (epochs) – 78, размер минипакета (batch size) – 16.

Результаты расчетов средней абсолютной ошибки модели нейронной сети YOLOv7 представлены в таблице.

Таблица – Средняя абсолютная ошибка модели нейронной сети YOLOv7 / Table – Average absolute error of the YOLOv7 neural network model

| Классификатор / Вид поражения / Classifier / Type of damage | Количество изображений, шт. / Number of images, pcs | | Средняя абсолютная ошибка, % / Mean Absolute Percentage Error (MAPE), % |
|--|--|---|--|
| | тестовой выборки / number of test sample images | верно классифицированных с помощью модели YOLOv7 / correctly classified using the YOLOv7 model | |
| «Calciumdeficiency» / Недостаток кальция в листьях земляники садовой / «Calciumdeficiency» / Lack of calcium in strawberry leaves | 200 | 186 | 7,52 |
| «Healthy_leaves» / Листья земляники садовой без поражений / «Healthy_leaves» / Strawberry leaves without damage | 200 | 193 | 3,62 |
| Всего / Total | 400 | 379 | 5,57 |

Анализ полученных результатов показал, что модель YOLOv7 классифицировала класс «Calciumdeficiency» с показателем MAPE, равным 7,52 %. Среднее абсолютное отклонение результатов распознавания модели YOLOv7 изображений листьев с признаками недостатка кальция и здоровых листьев от визуально идентифицированных экспертами-агрономами не превысила 5,57 %. Расчетное значение метрики бинарной классификации mAP составило 0,454, метрики F1-score – 0,53.

Результаты исследований показали, что своевременный мониторинг состояния земляники садовой на промышленной плантации, проведенный с использованием колесной роботизированной платформы с применением свёрточной нейронной сети YOLOv7 для обработки полученных данных, позволит на ранних этапах развития патологии с точностью до 94,43 % определить дефицит кальция в листьях растений земляники садовой.

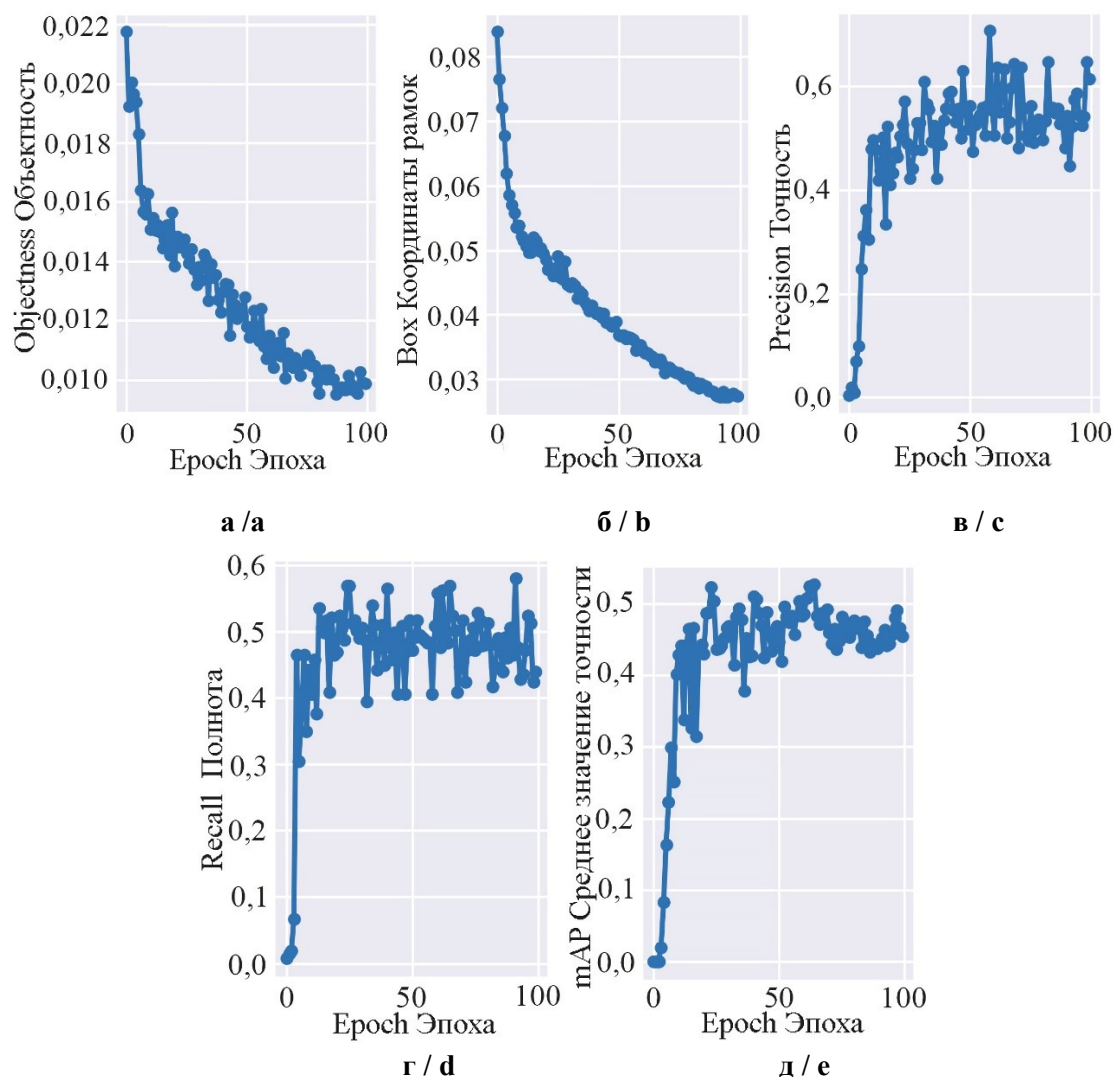


Рис. 9. Графики оценки качества работы нейронной сети YOLOv7: а – кривая Objectness-Epoch оценки функции потерь модели, б – кривая Box-Epoch оценки изменения метрики mAP, в – кривая Precision-Epoch, г – кривая Recall-Epoch, д – кривая mAP-Epoch оценки изменения метрики mAP /

Fig. 9. Graphs for evaluating the quality of the YOLOv7 neural network: а – the Objectness-Epoch curve for estimating the loss function of the model, б – the Box-Epoch curve for estimating changes in the mAP metric, в – the Precision-Epoch curve, г – the Recall-Epoch curve, д – the mAP-Epoch curve for estimating changes in the mAP metric

Заключение. В исследованиях применен метод обучения нейронной сети в условиях ограниченного объема обучающей выборки, полученной в полевых условиях с помощью роботизированной платформы с RGB-камерой. Результат показал, что искусственное увеличение объема обучающей выборки (изображений листьев земляники садовой), использование таких инструментов, как горизонтальное и вертикальное отражение, поворот на заданный угол и случайное добавление шума позволяет существенно повысить качество обучения нейронной сети, помогает адаптировать систему к реальным условиям, повышает точность

обнаружения признаков дефицита кальция в растениях на 18 % по сравнению с набором данных без увеличения объема выборки.

Обученная в рамках проведенных исследований методом трансферного обучения модель сверточной нейронной сети предназначена для распознавания одного класса – «Calciumdeficiency» (листья земляники с недостатком кальция). Исследования показали перспективы применения сверточной нейронной сети в составе системы поддержки принятия решений, в том числе для определения других видов поражений листьев земляники садовой и других сельскохозяйственных культур.

References

1. Dunn J. L., Able A. J. Pre-harvest calcium effects on sensory quality and calcium mobility in strawberry fruit. *Acta Horticulture*. 2006;708(708):307-312. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.708.52>
2. Moore K. A., Bradley L. K. North Carolina extension gardener handbook (Ch. 5). The University of North Carolina Press, North Carolina, USA, 2018. URL: <https://content.ces.ncsu.edu/extension-gardener-handbook/5-diseases-and-disorders>
3. Kuronuma T., Watanabe Y., Ando M., Watanabe H. Tipburn severity and calcium distribution in lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) cultivars under different relative air humidity conditions. *Agronomy*. 2018;8(10):218. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8100218>
4. Bárcena A., Graciano C., Luca T., Guiamet J. J., Costa L. Shade cloths and polyethylene covers have opposite effects on tipburn development in greenhouse grown lettuce. *Scientia Horticulturae*. 2019;249:93-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.023>
5. Olle M., Williams I. H. Physiological disorders in tomato and some methods to avoid them. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2017;92(3):223-230. DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.2016.1255569>
6. Saygi H. Effects of Organic Fertilizer Application on Strawberry (*Fragaria vesca* L.) Cultivation. *Agronomy*. 2022;12(5):1233. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051233>
7. Mohamed M. H. M., Petropoulos S. A., Ali M. M. E. The Application of Nitrogen Fertilization and Foliar Spraying with Calcium and Boron Affects Growth Aspects, Chemical Composition, Productivity and Fruit Quality of Strawberry Plants. *Horticulturae*. 2021;7(8):257. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080257>
8. Cvelbar Weber N., Koron D., Jakopič J., Veberič R., Hudina M., Baša Česnik H. Influence of Nitrogen, Calcium and Nano-Fertilizer on Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) Fruit Inner and Outer Quality. *Agronomy*. 2021;11(5):997. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050997>
9. Sabatino L., D'Anna F., Prinzivalli C., Iapichino G. Soil Solarization and Calcium Cyanamide Affect Plant Vigor, Yield, Nutritional Traits, and Nutraceutical Compounds of Strawberry Grown in a Protected Cultivation System. *Agronomy*. 2019;9(9):513. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9090513>
10. Kim H. M., Lee H. R., Kang J. H., Hwang S. J. Prohexadione-Calcium Application during Vegetative Growth Affects Growth of Mother Plants, Runners, and Runner Plants of Machyang Strawberry. *Agronomy*. 2019;9(3):155. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9030155>
11. Cruz M., Mafra S., Teixeira E., Figueiredo F. Smart Strawberry Farming Using Edge Computing and IoT. *Sensors*. 2022;22(15):5866. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22155866>
12. Basak J. K., Paudel B., Kim N. E., Deb N. C., Kaushalya Madhavi B. G., Kim H. T. Non-Destructive Estimation of Fruit Weight of Strawberry Using Machine Learning Models. *Agronomy*. 2022; 12(10):2487. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102487>
13. Ferentinos K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;145:311-318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
14. Vieira G. S., Fonseca A. U., Rocha B. M., Sousa N. M., Ferreira J. C., Felix J. P., Lima J. C., Soares F. Insect Predation Estimate Using Binary Leaf Models and Image-Matching Shapes. *Agronomy*. 2022;12(11):2769. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112769>
15. Zheng C., Abd-Elrahman A., Whitaker V. Remote Sensing and Machine Learning in Crop Phenotyping and Management, with an Emphasis on Applications in Strawberry Farming. *Remote Sensing*. 2021;13(3):531. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13030531>
16. Mahmud M. S., Zaman Q. U., Esau T. J., Chang Y. K., Price G. W., Prithiviraj B. Real-Time Detection of Strawberry Powdery Mildew Disease Using a Mobile Machine Vision System. *Agronomy*. 2020;10(7):1027. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10071027>
17. Khort D., Kutyrev A., Smirnov I., Osypenko V., Kiktev N. Computer vision system for recognizing the coordinates location and ripeness of strawberries. *Communications in Computer and Information Science*. 2020;1158:334-343. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_22
18. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural NetworkBased Deep Learning Remote Sensing Studies - Part 1: Literature Review. *Remote Sensing*. 2021;13(13):2450. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13132450>
19. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural NetworkBased Deep Learning Remote Sensing Studies - Part 2: Recommendations and Best Practices. *Remote Sensing*. 2021;13(13):2591. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13132591>

Сведения об авторах

✉ **Кутырёв Алексей Игоревич**, кандидат техн. наук, заведующий лабораторией интеллектуальных цифровых систем мониторинга, диагностики и управления процессами в сельскохозяйственном производстве, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7643-775X>, e-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Филиппов Ростислав Александрович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3586-3634>

Information about the authors

✉ **Alexey I. Kutyrev**, PhD in Engineering, Head of the Laboratory of Intelligent Digital Systems for Monitoring, Diagnostics and Process Management in Agricultural Production, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institute passage, 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7643-775X>, e-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Rostislav A. Filippov, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Intelligent Digital Systems for Monitoring, Diagnostics and Process Management in Agricultural Production, leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institute passage, 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7643-775X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

