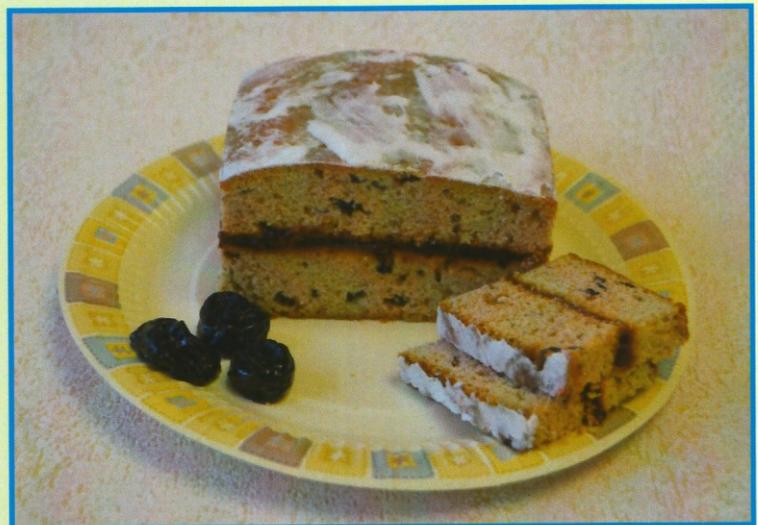
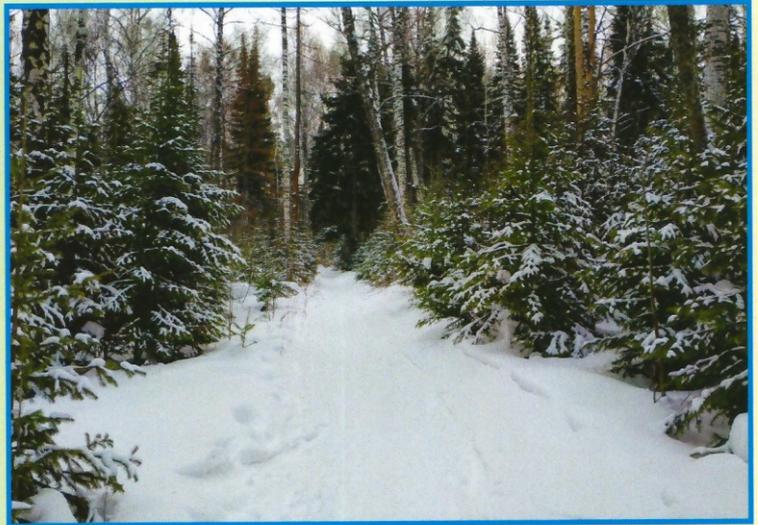


ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 22
№ 6
2021

Vol. 22
No. 6
2021

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



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

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

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НИИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,
Шемуранова Наталья Александровна – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельскохозяйственных 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 крахмалопродуктов, г. Москва, Россия

Багров Вугар Алиевич

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

Баталова Галина Аркадьевна

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

Гурьянов Александр Михайлович

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

Дёгтева Светлана Владимировна

д.б.н., 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 Санкт-Петербургской государственной академии ветеринарной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия

Домский Игорь Александрович

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

Еремин Сергей Петрович

д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия

Иванов Дмитрий Анатольевич

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Россия

Казакевич Пётр Петрович

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

Косолапов Владимир Михайлович

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

Костяев Александр Иванович

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий, ФГБНУ «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов Иван Михайлович

д.э.н., профессор, академик РАН, директор Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия

Леднев Андрей Викторович

д.с.-х.н., доцент, руководитель, главный научный сотрудник Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения Удмуртского ФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия

Никонова Галина Николаевна

д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Института аграрной экономики и развития сельских территорий, ФГБНУ «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия

Пашкина Юлия Викторовна

д.в.н., Почетный работник ВПО РФ, профессор кафедры эпизоотологии, паразитологии и ветсанэкспертизы Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия

Савченко Иван Васильевич

д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений, г. Москва, Россия

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

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

Полные тексты статей доступны на сайтах электронных научных библиотек:

eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНЦХБ:

<http://www.cnsnb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:

<https://cyberleninka.ru/>;

журнала:

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

Оформить подписку можно на сайте "Объединенного каталога "Пресса России" www.ppressa-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

На 4-й странице обложки фото
В. Малишевского

Подписано к печати
10.12.2021.

Дата выхода в свет

28.12.2021.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 18,83.

Тираж 100 экз. Заказ 24.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

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

**Самоделькин
Александр
Геннадьевич**

д.б.н., профессор, заслуженный ветеринарный врач РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, руководитель аграрно-экологического направления АНО «Нижегородский научно-образовательный центр», г. Нижний Новгород, Россия

**Сисягин
Павел Николаевич**

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

**Титова
Вера Ивановна**

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

**Токарев
Антон Николаевич**

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

**Урбан
Эрома Петрович**

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

**Цой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна**

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

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

**Щенникова
Ирина Николаевна**

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

Changzhong Ren

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

Ivanovs Semjons

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

Marczuk Andrzej

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

Náhlik András

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

Poutanen Kaisa

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

Romaniuk Wazlaw

д.т.н., профессор, Технологического-природоведческого института, г. Варшава, Польша

Yu Li

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

Редакционная коллегия

**Алешкин Алексей
Владимирович**

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

**Брандорф
Анна Зиновьевна**

д.с.-х.н., директор Федерального научного центра по пчеловодству, г. Рыбное, Россия

**Бурков Александр
Иванович**

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

**Егошина Татьяна
Леонидовна**

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

**Ивановский
Александр
Александрович**

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

**Козлова Людмила
Михайловна**

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия, агрохимии и мелиорации ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Костенко Ольга
Владимировна**

к.э.н., доцент, проректор по экономике и инновациям Вятского государственного агротехнологического университета, г. Киров, Россия

**Рябова Ольга
Вениаминовна**

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

**Савельев Александр
Павлович**

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

**Товстик Евгения
Владимировна**

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

**Филатов
Андрей Викторович**

д.в.н., профессор кафедры экологии и зоологии Вятского государственного агротехнологического университета, г. Киров, Россия

**Шешегова
Татьяна Кузьмовна**

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

**Юнусов Губейдулла
Сибяттулович**

д.т.н., профессор кафедры механизации производства и переработки с.-х. продукции Аграрно-технологического института Марийского государственного университета, заслуженный работник сельского хозяйства Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant Growing. Storage and Processing of Agricultural Production. Fodder Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Agricultural Microbiology and Mycology. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CURRENT EVENTS

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



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

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

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, engineer of scientific and technical information, the Science and Organization Department, FARC North-East, Kirov, Russia,
Natalia A. Shemuranova, Cand. of Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, FARC North-East, Kirov, Russia

Editorial council

- Nikolay R. Andreev** Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, academic advisor of the All-Russia scientific research institute of Starch Products, Moscow, Russia
- Vugar A. Bagirov** Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia
- Galina A. Batalova** Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy director on selection work, the head of Department of oats of the FARC North-East, Kirov, Russia
- Alexander M. Guryanov** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of FARC North-East, Saransk, Russia
- Svetlana V. Degteva** Dr. of Sci. (Biology), the director of Institute of biology of Komi Scientific Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
- Eduard D. Dzhavadov** Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
- Igor A. Domskiy** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director of Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
- Sergey P. Eremin** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Dmitriy A. Ivanov** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia
- Petr P. Kazakevich** Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus
- Vladimir M. Kosolapov** Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia
- Aleksandr I. Kostjaev** Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
- Ivan M. Kulikov** Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, director of the All-Russia Selection and Technology Institute of Horticulture and Nursery, Moscow, Russia
- Andrei V. Lednev** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia
- Galina N. Nikonova** Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
- Yulia V. Pashkina** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Honorary worker of higher vocational education of the Russian Federation, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Ivan V. Savchenko** Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, chief researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia
- Alexander G. Samodelkin** Dr. of Sci. (Biology), professor, Honored Veterinarian of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Vocational Education of the Russian Federation, Head of the agricultural and Environmental direction of the Nizhny Novgorod SEC, 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-rr.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

On the outside back cover there is the photo of V. Malishevsky

Passed for printing
10.12.2021 r.

Date of publication
28.12.2021.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pces. l. 18,83.
Circulation 100 copies. Order 24.
Free price.

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

Pavel N. Sisjagin	Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
Vera I. Titova	Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
Anton N. Tokarev	Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, head of the Department, Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
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, Minsk, Republic of Belarus
Yu. A. Tsoy	Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
Irina G. Shirokikh	Dr. of Sci. (Biology), leading researcher, head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, FARC North-East, professor at the Department of Microbiology, Vyatka State University, Kirov, Russia
Irina N. Shchennikova	Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley, FARC North-East, Kirov, Russia
Changzhong Ren	President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China
Semjons Ivanovs	Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
Andrzej Marczuk	Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland
András Náhlik	The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary
Kaisa Poutanen	Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
Vaclav Romaniuk	Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
Li Yu	Professor, academic adviser of the Institute of Mycology of Jilin Agricultural University, a foreign member of RAS, Changchun, China
Editorial Board	
Aleksey V. Aleshkin	Dr. of Sci. (Engineering), professor at the Department of Industrial Security and Engineering systems, Vyatka State University, Kirov, Russia
Anna S. Brandorf	Dr. of Sci. (Agricultural), the director of the Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoc, Russia
Alexander I. Burkov	Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher, the Honored Inventor of the Russian Federation, head of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, FARC North-East, Kirov, Russia
Tatyana L. Egozhina	Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
Alexander A. Ivanovsky	Dr. of Sci. (Veterinary), head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, FARC North-East, Kirov, Russia
Lyudmila M. Kozlova	Dr. of Sci. (Agricultural), head of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Land Improvement, FARC North-East, Kirov, Russia
Olga V. Kostenko	Cand. of Sci. (Economics), associate professor, Pro-Rector for Economy, The Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Olga V. Ryabova	Cand. of Sci. (Biology), associate professor at the Department of Microbiology, Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia
Alexander P. Saveljev	Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
Evgeniya V. Tovstik	Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia
Andrey V. Filatov	Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Ecology and Zoology, The Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
Tatyana K. Sheshhegova	Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, FARC North-East, Kirov, Russia
Gubeidulla S. Junusov	Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, the Honored Worker of Agriculture of Republic of Mary El, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

Ю. Шариков, М. В. Амелякина

Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор)..... 795

Н. П. Тимофеев

Фитобиотики в мировой практике: виды растений и действующие вещества, эффективность и ограничения, перспективы (обзор)..... 804

РАСТЕНИЕВОДСТВО

А. М. Леночкин, Т. А. Бабайцева

Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье..... 826

Д. А. Кузнецов, Г. Н. Ибрагимова

Зависимость семенной продуктивности яровой пшеницы от доз минеральных удобрений и норм высева..... 835

Т. А. Рожмина, А. А. Жученко, Е. Г. Герасимова, И. А. Андреева, А. Д. Смирнова

Влияние гербицида Магнум на урожайность и качество льнопродукции..... 844

Н. А. Зайцева, И. И. Климова, Е. В. Ячменева, А. С. Дьяков

Изучение исходного материала лука репчатого в условиях светло-каштановых почв аридной зоны Прикаспия..... 857

О. А. Чеглакова, А. В. Денисова, В. М. Мотов

Оценка коллекции озимого чеснока по продуктивности и биохимическому составу в условиях Кировской области..... 865

Л. В. Багмет, Е. М. Чеботок, А. В. Шляс

Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть I..... 873

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

А. Е. Артемьева, М. Н. Захарова, Л. В. Рожкова

Эффективность применения регулятора роста Энергия-М в системе защиты озимой пшеницы..... 887

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Н. Р. Андреев, В. Г. Гольдштейн, В. А. Коваленок, Л. П. Носовская, Л. В. Адикаева, А. А. Мирошников

Исследование процесса извлечения высококрахмалистой фракции ржаной муки пневмоклассификацией..... 896

Л. К. Пацюк, Т. В. Федосенко, В. В. Кондратенко, М. В. Лукьяненко

Зависимость поверхностного натяжения фруктовых пюре от температурного воздействия..... 907

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

И. Э. Шарпова

Влияние состава питательных сред на продуктивность и биологическую активность штамма энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana*..... 918

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ

Е. В. Виноградова, М. К. Чугреев, Н. И. Кульмакова

Влияние пребиотика с бифидогенными свойствами на морфометрические показатели кроликов... 928

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

П. В. Заяц, П. П. Казакевич

Экспериментальные исследования машины для сбора колорадского жука..... 935

ХРОНИКА

Новые селекционные достижения ученых Федерального аграрного научного центра..... 948

CONTENTS

REVIEWS

- Anton Yu. Sharikov, Maria V. Amelyakina*
Modification of carbohydrates of food raw materials in the process of thermoplastic extrusion (review)... 795
- Nikolay P. Timofeev*
Phytobiotics in world practice: plant species and active substances, efficiency and limitations, perspectives (review)..... 804

PLANT GROWING

- Alexander M. Lentochkin, Tanyana A. Babaytseva*
Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals..... 826
- Dmitry A. Kuznetsov, Galina N. Ibragimova*
Dependence of spring wheat seed productivity on mineral fertilizer doses and seeding rates..... 835
- Tatyana A. Rozhmina, Alexander A. Zhuchenko, Elena G. Gerasimova, Irina A. Andreeva, Anzhela D. Smirnova*
The effect of the herbicide Magnum on the yield and quality of flax products..... 844
- Nadezhda A. Zaitseva, Irina I. Klimova, Ekaterina V. Yachmeneva, Aleksandr S. Dyakov*
The study of onion source material in the light-brown soils of the Caspian Sea arid zone..... 857
- Oksana A. Cheglakova, Anna V. Denisova, Victor M. Motov*
Assessment of winter garlic collection according to productivity and biochemical composition in the conditions of the Kirov region..... 865
- Larisa V. Bagmet, Elena M. Chebotok, Anna V. Shlyavas*
Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I..... 873

PLANT PROTECTION

- Elena A. Artemieva, Marina N. Zakharova, Lyudmila V. Rozhkova*
The effectiveness of the use of Energia-M growth regulator in the protection system of winter wheat..... 887

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

- Nikolay R. Andreev, Vladimir G. Goldstein, Vladimir A. Kovalenok, Liliya P. Nosovskaya, Larisa V. Adikaeva, Alexander A. Miroshnikov*
Investigation of the process of extraction of a highly starchy fraction of rye flour by air classification..... 896
- Lyubov K. Patsyuk, Tatiana V. Fedosenko, Vladimir V. Kondratenko, Maria V. Luk'yanenko*
Dependence of surface tension of fruit puree on temperature exposure..... 907

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

- Irina E. Sharapova*
Influence of the composition of nutrient media on the productivity and biological activity of the strain of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*..... 918

FUR FARMING AND HUNTING

- Evgeniya V. Vinogradova, Mihail K. Chugreev, Nataliya I. Kulmakova*
The effect of prebiotic with bifidogenic properties on morphometric parameters of rabbits..... 928

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Pavel V. Zayats, Petr P. Kazakevich*
Experimental studies of a machine for collecting the Colorado potato beetle..... 935

CHRONICLE

- New breeding achievements of the scientists of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky..... 948

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>

УДК 66-96+664.2



Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор)

© 2021. А. Ю. Шариков , М. В. Амелякина

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Российская Федерация

Экструзия все чаще рассматривается не просто как эффективная технология переработки сельскохозяйственного сырья в корма и продукты питания ограниченной номенклатуры, но и как гидротермомеханический способ глубокой модификации свойств биополимеров. Углеводы являются самым представленным классом органических соединений в перерабатываемом агропромышленном комплексе сырья. Поэтому оценка влияния фактора переработки на конечные физико-химические и технологические свойства различных видов углеводов, входящих в химический состав сырья, либо использующихся в качестве моноингредиентов, является актуальной задачей для пищевой промышленности. В обзоре рассмотрены вопросы экструзионной модификации крахмала в аспекте различия свойств его основных биополимеров амилозы и амилопектина, а также наличия в реакционной системе липидов и органических кислот. Показано, что в зависимости от условий экструзии и состава смесей происходят процессы деградации макромолекул крахмала, клейстеризации, этерификации и образования новых химических связей. Представлены результаты исследований по воздействию экструзии на изменение физико-химических свойств некрахмальных полисахаридов, целлюлозы, арабксиланов, инулина, пектина, хитозана, камедей различного происхождения. Показано, что экструзия и варьирование ее режимов способны значимо влиять на пищевую ценность экструдатов, в том числе изменять гликемический индекс, инактивировать антипитательные факторы или повысить их содержание в готовой продукции.

Ключевые слова: экструзия, модификация, углеводы, крахмал, пищевые волокна, липиды, пектин, инулин, хитозан, камедь, галактоолигосахариды

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (тема № 0529-2019-0066).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шариков А. Ю., Амелякина М. В. Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(6):795-803. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>

Поступила: 04.08.2021

Принята к публикации: 04.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Modification of carbohydrates of food raw materials in the process of thermoplastic extrusion (review)

© 2021. Anton Yu. Sharikov , Maria V. Amelyakina

All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a branch of Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

Extrusion can be considered not only as an effective technology for processing agricultural raw materials into feed and food products, but also as a thermo-mechanical method for modification of the chemical properties of biopolymers. Carbohydrates are the most represented class of organic compounds in raw materials processed by the agro-industrial complex. The assessment of the influence of the processing factor on the final physicochemical and technological properties of various types of carbohydrates included in the chemical composition of raw materials or used as mono-ingredients is an actual task for the food industry. The review considers the issues of extrusion modification of starch in terms of the difference in the properties of amylose and amylopectin as well as the presence of lipids and organic acids in the reaction system. Processes of macromolecular degradation, gelatinization, esterification and the formation of new chemical bonds in dependence on the conditions of extrusion and the composition of mixtures are discussed. The results of studies of the influence of extrusion cooking on the changes in the physicochemical properties of non-starchy polysaccharides, cellulose, araboxylans, inulin, pectin, chitosan, and gums of various origins are presented. It has been shown that extrusion and varying of its operating regimes can significantly affect the nutritional value of extrudates including changing the glycemic index, inactivating anti-nutritional factors, or increasing their content in extrudates.

Keywords: extrusion, modification, carbohydrates, starch, dietary fibers, lipids, pectin, inulin, chitosan, gums, galactooligosaccharides

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (theme No. 0529-2019-0066).

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: Sharikov A. Yu., Amelyakina M. V. Modification of carbohydrates of food raw materials in the process of thermoplastic extrusion (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):795-803. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>

Received: 04.08.2021

Accepted for publication: 04.11.2021

Published online: 15.12.2021

Термопластическая (варочная) экструзия в аспекте изменения технологических свойств биополимеров растительного сырья является перспективной альтернативой различным способам химической, биокаталитической и другим способам модификации ингредиентов, создания новых видов пищевых добавок и придания определенных свойств готовым экструзионным пищевым продуктам. Комплексное воздействие таких факторов экструзионной обработки, как высокие температура и давление, сдвиговые деформации и возможность варьирования содержанием влаги в реакционной системе позволяет значимо изменять физико-химические и структурные свойства перерабатываемого сырья. Наиболее представленным классом органических соединений в сельскохозяйственном сырье являются углеводы, в большей части это крахмалы и некрахмальные полисахариды, выполняющие важнейшие функции в питании. Кроме того, пищевая промышленность широко использует различные виды углеводов как добавки с разнообразными технологическими целями, в качестве загустителей, стабилизаторов, эмульгаторов, наполнителей, желеобразующих и влагоудерживающих агентов. В результате гидротермомеханического экструзионного воздействия получаемые экструдаты могут обладать новыми, улучшенными технологическими свойствами, что может расширить спектр их использования в пищевой промышленности. Важными аспектами модификации являются изменение пищевой ценности перерабатываемого сырья, образование комплексов органических соединений в реакторной системе экструдера.

Цель обзора – на основании данных научных публикаций проанализировать механизмы и характер изменений физико-химических свойств углеводов сельскохозяйственного сырья различного происхождения в результате переработки методом термопластической экструзии.

Материал и методы. Изучены материалы научных исследований в области экструзии крахмала, пищевых волокон, пектинсодержащего сырья и других полисахаридов. Поиск источников осуществлялся в научных электронных библиотеках и поисковых системах Science Direct, Google Scholar, медицинской базе данных PubMed, портале ResearchGate, научной электронной библиотеке eLibrary.Ru. Первоначальная глубина поиска составила период 2010-2021 гг., более ранние публикации изучались в случае высокой цитируемости по рассматриваемому направлению исследования. Поиск запросы выполняли по следующим ключевым словам на русском и английском языках: экструзия, модификация, углеводы, крахмал, амилозо-липидный комплекс, пищевые волокна, целлюлоза, хитозан, полисахариды, пектин, камедь, инулин, галактоолигосахариды/ extrusion, modification, carbohydrates, starch, amylose-lipid complex, dietary fiber, cellulose, chitosan, polysaccharides, pectin, gum, inulin, galactooligosaccharides.

Основная часть. Экструзия крахмала. Крахмал, как значимый источник пищевых углеводов и энергии, является основным биополимером, подвергающимся экструзионной переработке в процессе производства продуктов экструзионных круп, ингредиентов для детского питания, сухих завтраков, хлебцев, пеллет и другой крахмалсодержащей продукции. Одна из первых предложенных моделей трансформации крахмала в процессе экструдирования предполагала [1], что с уменьшением содержания влаги от 33 до 14 % происходит постепенный переход от желатинизированных свойств к декстринизированным. Максимальная клейстеризация крахмала отмечена при влажности около 28-29 %, а в экструдированном при влажносте менее 20 % крахмале преобладающими становятся декстринизированные свойства. Частично подтвердило данную концепцию исследование

[2], в котором хроматографический анализ экстрадированных смесей картофельной, пшеничной, овсяной муки, мальтодекстрина показал увеличение содержания декстринов степенью полимеризации 7-10 глюкозных остатков с 5,7-6,8 до 10,6-11,2 %, степенью полимеризации 3-6 глюкозных остатков с 0,9-1,1 до 1,3-1,4 %. При этом содержание моно- и дисахаров не изменялось. Согласно альтернативной концепции [3] при экстрадировании изменений молекулярной структуры крахмала не происходит, нет образования моно- и дисахаров, олигосахаридов и декстринов более высокой степени полимеризации, что также было отмечено при изучении проэкстрадированных крахмалов кукурузы и сорго [4]. Авторы считают, что в результате экструзии происходит разрушение надмолекулярной гранулярной структуры крахмала и его клейстеризация, следствием чего являются высокая степень растворимости и ферментативной атакуемости. В результате исследования влияния высокотемпературной экструзии на крахмалы различного ботанического происхождения на примере картофельного, кукурузного и тапиокового [5] установлено изменение морфологической структуры нативного сырья – разрушение аморфно-кристаллической структуры и переход крахмалов в аморфное состояние.

Как известно, клейстеризация это сложное явление, которое определяется рядом факторов: ботаническим происхождением, условием роста растений, методами выделения и экстракции, содержанием воды, наличием добавок, скоростью нагрева и температурным режимом обработки. Классическая модель клейстеризации, когда гранулы крахмала медленно нагреваются с большим количеством воды, способствующей впитыванию, набуханию и высвобождению биополимеров, неприменима для экструзии с большим усилием сдвига. Полная клейстеризация крахмала при экстрадировании происходит при 120 °C и влажности 20-30 %, а при более высоких температурах при влажности 10-20 % [6, 7]. Более современное исследование [8] подводит итог работам [4, 5, 6, 7, 8, 9], рассматривающим влияние экструзии на крахмал через трансформацию его двух основных биополимеров: относительно линейной амилозы с молекулярной массой порядка 10^6 Да и амилопектина с высокой степенью полимеризации, содержащего высокую плотность разветвлений, около 5 % гликозидных связей составляют α -1,6.

Результаты исследования показали, что при сдвиговых деформациях экструзионной обработки значительной деградации подвергаются гранулы амилопектина, а значимых изменений макромолекулярной структуры амилозы не наблюдается. Авторы объясняют данный эффект тем, что амилопектин не только крупнее амилозы, но и имеет гораздо более короткие ответвления. Высокая степень разветвленности делают структуру амилопектина негибкой, уменьшая максимальную деформацию, которую он может выдержать без разрушения. Результаты исследования показали, что фактический разрыв гликозидных связей внутри цепи не является избирательным процессом, и они имеют такую же вероятность разрыва в длинных разветвлениях, как и в коротких. При этом, во время экструзии с большей вероятностью деполимеризация по гликозидным связям происходит в точках разветвления полимерных цепей. В случае более высокого содержания амилозы вязкость получаемого расплава повышается, и процесс экструзии становится более затруднительным [10, 11]. Такое явление объясняется высокими температурами плавления амилозы при низком содержании влаги и тем, что амилозная фракция сложнее взаимодействует с водой и менее склонна к набуханию. Для устранения или уменьшения таких проблем рекомендуется при экструзии крахмалов увеличивать содержание влаги в камере экструдера, повышать степень сжатия шнека и скорость вращения шнека [8, 10].

Структурные изменения при экстрадировании крахмала происходят в присутствии липидов. Амилозо-липидные комплексы образуются при нагревании крахмала и последующем медленном охлаждении, вызывая изменения в его кристаллической структуре. Нагревание расширяет диаметр двойной спирали, позволяя липиду вписаться в двойную спираль амилозы. Амилозо-липидные комплексы проявляют термический переход примерно при 100 °C в избытке воды, что интерпретируется как диссоциация комплекса. Однако этот переход является тепло-обратимым, поэтому комплекс может быть преобразован, как только температура системы снизится. Температура перехода и, следовательно, термическая стабильность комплекса определяются свойствами липида (длина цепи, степень ненасыщенности) и другими факторами [12]. После включения липида в амилозную цепь он уменьшает взаимодействие амилозы с молеку-

лами воды, что непосредственно влияет и на ее вязкостные характеристики. Это может быть дополнительным фактором, препятствующим процессу желатинизации в крахмале с высоким содержанием амилозы. Экструдирование картофельного и кукурузного крахмала с 5 и 10 % олеиновой кислоты при 100 °С показало возможность получения резистентного крахмала за счет формирования амилозо-липидных комплексов [13], образование которых является частным случаем возможности амилозы взаимодействовать с амфифильными или гидрофобными молекулами с образованием резистентных крахмалов.

Исследования показали, что процесс желатинизации крахмала тормозит присутствие сахара за счет частичного поглощения воды [14, 15].

О возможности возникновения ковалентных химических связей амилозы с белками в процессе термопластической экструзии с образованием нерастворимых комплексов, элиминирующих деградацию крахмала, свидетельствует ряд исследований с использованием белков молочной сыворотки [16, 17]. Добавление белка другого типа – соевого изолята подтверждает данные выводы: с увеличением содержания белка помимо изменений структурных и физических свойств экструдатов наблюдалось снижение степени клейстеризации крахмала, происходило образование новых ковалентных и водородных химических связей [18].

Результатом экструдирования крахмала совместно с органическими кислотами и их производными является его этерификация [19] с образованием ингредиентов, клейстеры которых обладают повышенной вязкостью, стабильностью и устойчивостью при хранении [20]. Термопластическая экструзия кукурузного крахмала совместно с добавлением 5%-ной лимонной кислоты на 71 % повысила содержание резистентного крахмала [21], не перевариваемых в тонком кишечнике фракций крахмала, идентичным по своим диетическим свойствам пищевым волокнам.

Клейстеризация крахмала в процессе экструзии способствует интенсивности и высокой степени его гидролиза при обработке промышленными амилолитическими ферментными препаратами [22] и в процессе пищеварения [23], результатом чего является нежелательное повышение гликемического индекса экструдатов крахмала [24].

Модификация свойств пищевых волокон в процессе экструзии. Все более важную роль в обогащении продуктов питания, в том числе экструзионных, отводят пищевым волокнам. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 [25] определяют пищевые волокна как высокомолекулярные углеводы (целлюлоза, пектины и другое, в т.ч. некоторые резистентные к амилазе виды крахмалов) главным образом растительной природы, устойчивые к перевариванию и усвоению в желудочно-кишечном тракте. Растворимые пищевые волокна включают пектин, гуаровую камедь и гемицеллюлозу, в то время как нерастворимые состоят из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина [26]. Экструдирование пищевого сырья ведет к модификации свойств пищевых волокон, некрахмальных полисахаридов, пентозанов и β-глюканов, особенно в части их растворимости. С увеличением удельного расхода электроэнергии на термомеханическую переработку растворимость пищевых волокон значительно повышается [27]. Согласно одному из ранних исследований [28] после экструзии пшеничной муки содержание растворимых арабосиланов увеличилось с 13 до 26 % общего содержания клетчатки, галактозы с 3 до 6 %, ксилозы с 16 до 34 %. Отмечается [29], что максимальное увеличение растворимой клетчатки обеспечивает увеличение скорости вращения шнеков при экструдировании: содержание растворимых пищевых волокон в цельнозерновой муке увеличивалось с 1,25 до 2,19 %, в отрубях с 1,72 до 4,25 %.

Целлюлоза широко используется в композиционных материалах, капсулировании, гранулировании. Экструзия не подвергает сильной деполимеризации целлюлозу, хорошо сохраняет ее свойства, улучшает растворимость и повышает реакционную способность [30]. При термической обработке целлюлозы внутримолекулярные и межмолекулярные водородные связи изменяются и перегруппировываются [31]. Расщепление целлюлозной цепи начинается при температуре выше 150 °С. В диапазоне температур от 170 до 210 °С кристалличность целлюлозы увеличивается, но снижается при температуре выше 210 °С. Использование экструзии позволяет переработать целлюлозу и без использования катализатора получить продукт с химической структурой, аналогичной полученным с использованием агрессивных растворителей. Исследовано влияние внесения нановолокон

целлюлозы в концентрации до 10 % на свойства термопластичного крахмала [32]. Установлено, что в процессе экструзии нанокристаллы целлюлозы образуют новые водородные связи с молекулами крахмала, что способствует увеличению жесткости полученного материала. Результаты исследования показали, что при минимальных дозировках нанокристаллов целлюлозы (1,5 и 2,5 %) снижаются скорость ферментативного гидролиза нанокомпозитов и их набухающая способность. Увеличение дозировки приводит к формированию аморфной и неоднородной структуры нанокомпозитов, эффективно гидролизуемых ферментами.

Экструзия пектин- и инулинсодержащего сырья. Тепловое и механическое воздействие экструзии на пектинсодержащее сырье повышает растворимость компонентов клеточной стенки. Механическая экструзионная дезинтеграция вторичных сырьевых ресурсов переработки фруктов и овощей увеличивает растворимость, набухаемость, влагоудерживающую способность [33]. В результате экстремальных условий экструзионной переработки снижается молекулярная масса пектина. В работе по повышению степени экстракции горячей водой пектина из яблочного жмыха с использованием двухшнекового экструдера [34] установлено, что молекулярная масса пектина с ростом удельного расхода энергии от 100 до 180 кВт·ч /т значимо снижалась от $2,41 \cdot 10^5$ до $4,97 \cdot 10^4$ в сравнении с $1,81 \cdot 10^5$ пектина кислотной экстракции. Превышение удельного расхода электроэнергии более 130 кВт·ч/т позволило при этом получить больший выход пектина в сравнении с кислотной экстракцией. С использованием экструзии выход пектина варьировал в диапазоне 11,94-19,75 %, в неэкструдированном – 3,68 %, а при кислотной экстракции составил 14,4 %.

Экструзия жома сахарной свеклы увеличивала растворимость пектинов [33], но значительно снижала характеристическую вязкость и молекулярную массу, которая после экструдирования и водной экстракции составила $2,51 \cdot 10^4$, после экстракции с использованием соляной кислоты – $5,44 \cdot 10^4$. Содержание галактуроновой кислоты, арабинозы и рамнозы в экструдированных образцах было значительно выше, содержание галактозы – примерно одинаково. Степень метилирования и ацетилирования в экструдированном пектине также была выше. Все это позволяет предположить, что

экструзия разрушает основную цепь пектинов на основе рамногалактуронанов и оказывает небольшое разрушающее действие на боковые цепи в отличие от кислотной обработки.

Важную роль в обогащении продуктов пищевыми волокнами отводится инулину, полисахариду из группы фруктанов, биополимеров на основе молекул β -D-фруктозы. Инулин, как ингредиент, может использоваться в качестве пребиотика для профилактики осложнений функционирования желудочно-кишечного тракта, улучшает усвоение минералов, стимулирует работу иммунной системы, обладает свойствами моделирования текстуры, замены жиров [35]. Исследовано влияние инулина с разной степенью полимеризации (10 и 23), внесенного в экструдированную смесь в количестве от 2 до 7 % [36]. Показано, что во время экструзии происходит разрушение биополимерной цепи инулина, содержание фруктана снижалось в среднем на 17,5 %, но не отмечено повышения образования продуктов реакции Майяра. Химического взаимодействия между крахмалом и инулином не происходит, инулин с меньшей полимеризацией больше влияет на структурные и текстурные свойства экструдатов.

Модификация свойств камедей. Экструзия позволяет модифицировать и структуру камедей из различных источников, выполняющих в пищевой промышленности функции влагоудерживающих агентов, загустителей, стабилизаторов, эмульгаторов. Основные технологические проблемы их использования заключаются в трудности получении однородных растворов, образовании комков и медленной скорости гидратации. В результате экструдирования ксантановой камеди при температуре 70 °С улучшается ее диспергируемость в воде [37]. Отмечено, что превышение температуры фазового перехода «порядок-беспорядок» приводит к необратимой потере структуры биополимера. Согласно выводам исследований по влиянию экструзии на изменение свойств камеди себании [38] при температуре 80 °С, камеди пажитника [39] при более высоких температурах до 150 °С термомеханическая обработка изменила молекулярно-массовое распределение и повысила полидисперсность биополимеров. После обработки повысились растворимость в воде, вязкость при гидратации воды и скорость водопоглощения. Экструзионная обработка камедей привела к некоторым изменениям в структуре камеди, включая

нарушение структуры клеточной стенки и повышение доступности воды к гидрофильным группам, что улучшило гидратационные свойства обработанной камеди. При этом не отмечено значимого различия в водоудерживающей способности, маслоудерживающей способности, эмульгирующей способности обработанной и необработанной камеди.

Использование хитозана в экструзии. Все большее распространение в фармацевтической и пищевой отраслях, в кормопроизводстве получает хитозан – полисахарид, получаемый из хитина панциря ракообразных или низших грибов. Экструзия хитозана используется в тканевой инженерии, при гранулировании в фармацевтической промышленности и инкапсулировании в пищевой промышленности. Хитин и хитозан в отличие от крахмала и целлюлозы обладают низкой термостойкостью, пластичностью и почти нерастворимы в обычных растворителях. Эти недостатки устраняются путем совмещения хитина или хитозана с другими полимерами для получения гибридных полимерных материалов. Преобразовывать эти полимеры в новый материал без использования агрессивных реагентов и длительных, многостадийных процессов с помощью физического воздействия позволяет экструзионная обработка [40]. Например, с использованием экструдирования разработаны пищевые биоразлагаемые пленки на основе нанокристаллов хитина и водной суспензии целлюлозы [41]. В связи с актуальностью использования хитозана в пищевых продуктах, обусловленной его гипохолестеринемическими и гипоурикемическими свойствами [42], исследована возможность внесения хитозана в рецептуры экструдированных продуктов для улучшения их функциональных свойств [43]. Показано, что добавление 1-3%-го хитозана к экструдированной смеси повышает уровень содержания пищевых волокон, ингибирует процесс клейстеризации крахмала, повышает уровень кристалличности, а также улучшает функциональные свойства готового продукта. При этом исследование методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье показало стабильность хитозана в условиях экструзионной переработки.

Антипитательные факторы. Повышение пищевой ценности продуктов обеспечивается не только внесением функциональных ингредиентов, но и инактивацией антипита-

тельных факторов или минимизацией их образования, а также снижением потерь биологически активных веществ. К небелковым антипитательным факторам можно отнести галактоолигосахариды – стахиозу, раффинозу и вербаскозу [44], метаболизируемые в организме с образованием метана и диоксида углерода и вызывающие газообразование в кишечнике. Данные, представленные в различных исследованиях, относительно влияния экструзии на концентрацию галактоолигосахаридов достаточно противоречивы. Обзор данной проблемы [44] показал, что ряд исследований содержит сведения об уменьшении концентрации галактоолигосахаридов в результате экструзии бобовых до 68 % в зависимости от вида сырья и условий экструзии, в некоторых источниках показано увеличение от 2 до 97 %. Предполагается, что отсутствие консенсуса в результатах может быть связано с частичным гидролизом олигосахаридов при определенных режимах экструзии, возможностью вступления сахаров в сахароаминную реакцию, что, в свою очередь, может влиять на экстрагируемость олигосахаридов для анализов.

Экстремальные температурные режимы экструдирования, в некоторых случаях превышающие 200 °С, могут стать причиной нежелательной сахароаминной реакции Майяра, с одной стороны, положительно влияющей на органолептические свойства экструдатов, но, с другой стороны, приводящей к потерям аминокислот, снижению усвояемости белка [45]. В данном аспекте наиболее реакционно-способны пентозы, потом гексозы (d-галактоза > d-манноза > d-глюкоза) и дисахариды. Замедлить реакцию Майяра при экструдировании углеводов возможно путем изменения технологических режимов: снижением температуры экструзии, скорости вращения шнеков, увеличением производительности и подачи воды в камеру экструдера [46].

Заключение. Анализ литературных источников показывает перспективность использования экструзии для модификации свойств углеводов и сельскохозяйственного сырья, основными компонентами которого они являются. Возможности варьирования гидротермомеханических режимов определяют степень воздействия на углеводы и изменения физико-химических, технологических свойств экструдатов. Показано, что экструзия обеспечивает клейстеризацию крахмала в условиях низкого влагосодержания, повышает раство-

римость некрахмальных полисахаридов, что связано с разрушением ковалентных и нековалентных связей в углеводах, изменением молекулярной структуры и образованием более мелких и растворимых молекулярных фрагментов. На основании проведенного обзора можно выделить ряд перспективных направлений развития экструзионных технологий, связанных с модификацией углеводов. К ним можно отнести разработку новых видов модифицированных крахмалов, в том числе с использованием органических кислот в качестве реагентов, получением функциональных добавок на основе некрахмальных полисахаридов с повышенным содержанием раство-

римых пищевых волокон, получение модифицированных камедей, разработку пищевых продуктов, обогащенных функциональными ингредиентами-углеводами. Важным аспектом инноваций в пищевой промышленности является более рациональное использование сырья, повышение экологизации производства, снижение образования отходов. Данному тренду соответствуют возможности использования экструзии для переработки вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса в продукты высокой добавленной стоимости как, например, экструдирование жомов овощей и фруктов в производстве пектина в качестве альтернативы кислотной экстракции.

References

1. Gomez M. H., Aguilera J. M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *Journal of Food Science*. 1984;49(1):40-43. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13664.x>
2. Obuchowski W., Chalcarz A., Paschke H. The effect of raw material composition on a soluble substances content as well as the direction and extend of changes in saccharides during extrusion process. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Series Food Science and Technology*. 2007;10(1):17. URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume10/issue1/art-17.html>
3. Colonna P., Tayeb J., Mercier C. Extrusion cooking of starch and starchy products. In *Extrusion Cooking*, 2TH edition. USA. American Association of Cereal Chemists, 1998. 472 p. URL: <https://www.amazon.com/Extrusion-Cooking-C-Mercier/dp/0913250678>
4. Jackson D. S., Gomez M. H., Waniska R. D., Rooney L. W. Effects of single-screw extrusion cooking on starch as measured by aqueous high-performance size-exclusion chromatography. *Cereal chemistry*. 1990;67(6):529-532. URL: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/67_529.pdf
5. Butrim S. M., Litvyak V. V., Moskva V. V. A study of physicochemical properties of extruded starches of varied biological origin. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2009;82(7):1195-1199. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070427209070076>
6. Linko P., Colonna P., Mercier C. High temperature, short time extrusion cooking. *Advances in Cereal Science and Technology*. 1981;4:145-235.
7. Cheftel J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. *Food Chemistry*. 1986;20(4):263-283. DOI: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90096-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90096-8)
8. Liu W.-C., Halley P. J., Gilbert R. G. Mechanism of degradation of starch, a highly branched polymer, during extrusion. *Macromolecules*. 2010;43(6):2855-2864. DOI: <https://doi.org/10.1021/ma100067x>
9. Tang J., Ding X.-L. Relationship between functional properties and macromolecular modifications of extruded corn starch. *Cereal Chemistry*. 1994;71(4):364-369. URL: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1994/Documents/71_364.pdf
10. Thuwall M., Boldizar A., Rigdahl M. Extrusion processing of high amylose potato starch materials. *Carbohydrate Polymers*. 2006;65(4):441-446. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.033>
11. Shrestha A. K., Ng C. S., Lopez-Rubio A., Blazek J., Gilbert E. P., Gidley M. J. Enzyme resistance and structural organization in extruded high amylose maize starch. *Carbohydrate Polymers*. 2010;80(3):699-710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.12.001>
12. Cervantes-Ramírez J. E., Cabrera-Ramírez A. H., Morales-Sánchez E., Rodríguez-García M. E., Reyes-Vega M. L., Ramírez-Jiménez A. K., Contreras-Jiménez B. L., Gaytán-Martínez M. Amylose-lipid complex formation from extruded maize starch mixed with fatty acids. *Carbohydrate Polymers*. 2020;246:116555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116555>
13. Cabrera-Ramírez A. H., Cervantes-Ramírez E., Morales-Sánchez E., Rodríguez-García M. E., Reyes-Vega M. de la L., Gaytán-Martínez M. Effect of Extrusion on the Crystalline Structure of Starch during RS5 Formation. *Polysaccharides* 2021;2(1):187-201. DOI: <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2010013>
14. Burey P., Bhandari B. R., Rutgers R. P. G., Halley P. J., Torley P. J. Confectionery Gels: A Review on Formulation, Rheological and Structural Aspects. *International Journal of Food Properties*. 2009;12(1):176-210. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942910802223404>
15. Beleia A., Miller R. A., Hosney R. C. Starch Gelatinization in Sugar Solutions. *Starch–Starke*. 1996;48(7-8):259-262. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.19960480705>

16. Matthey F. P., Hanna M. A. Physical and functional properties of twin-screw extruded whey protein concentrate-corn starch blends. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 1997;30(4):359-366. DOI: <https://doi.org/10.1006/food.1996.0189>
17. Allen K., Carpenter C. E., Walsh M. K. Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product. *International Journal of Food Science Technology*. 2007;42(8):953-960. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01316.x>
18. Chen B., Chen Yu., Junfei L., Yuling Y., Xinchun Sh., Shaowei L., Xiaozhi T. Physical properties and chemical forces of extruded corn starch fortified with soy protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology*. 2017;52(12):2604-2613. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13547>
19. Aćkar Đ., Babić J., Jozinović A., Miličević B., Jokić S., Miličević R., Rajič M., Šubarić D. Starch Modification by Organic Acids and Their Derivatives: A Review. *Molecules*. 2015;20(10):19554-19570. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules201019554>
20. Соломина Л. С., Соломин Д. А. Технологические аспекты получения и свойства пшеничного крахмалоцитрата. *Пищевая промышленность*. 2021;(4):50-54. DOI: <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-4-0041>
- Solomina L. S., Solomin D. A. *Tekhnologicheskie aspekty polucheniya i svoystva pshenichnogo krakhmalotsitrata*. [Technological aspects of production and properties of wheat starch citrate]. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2021;(4):50-54. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-4-0041>
21. Nader-Suárez D., Amaya-Guerra C. A., Pérez-Carrillo E., Quintero-Ramos A., Méndez-Zamora G., Sánchez-Madrigal M. Á., Barba-Dávila B. A., Lardizábal-Gutiérrez D. Optimization of an Extrusion Cooking Process to Increase Formation of Resistant Starch from Corn Starch with Addition of Citric Acid. *Starch-Stärke*. 2020;72(3-4):1-2. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201900150>
22. Шариков А. Ю., Степанов В. И., Иванов В. В. Термопластическая экструзия в процессах пищевой биотехнологии. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2019;9(3):447-460. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
- Sharikov A. Yu., Stepanov V. I., Ivanov V. V. *Termoplasticheskaya ekstruziya v protsessakh pishchevoy biotekhnologii*. [Thermoplastic extrusion in food biotechnology processes]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2019;9(3):447-460. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
23. Brennan M. A., Derbyshire E., 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 & Technology*. 2013;48(5):893-902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
24. Onwulata C. I., Thomas A. E., Cooke P. H., Phillips J. G., Carvalho C. W. P., Ascheri J. L. R., Tomasula P. M. Glycemic Potential of Extruded Barley, Cassava, Corn, and Quinoa Enriched With Whey Proteins and Cashew Pulp. *International Journal of Food Properties*. 2010;13(2):338-359. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942910802398487>
25. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с. Режим доступа: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583
- Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii: metodicheskie rekomendatsii*. [Norms of physiological requirements in energy and nutrients in various groups of population in Russian Federation: methodological recommendations]. Moscow: *Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rosspotrebnadzora*, 2009. 36 p. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583
26. Qiao H., Shao H., Zheng X., Liu J., Liu J., Huang J., Zhang C., Liu Zh., Wang J., Guan W. Modification of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) residues soluble dietary fiber following twin-screw extrusion. *Food Chemistry*. 2021;335:127522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127522>
27. Robin F., Schuchmann H. P., Palzer S. Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*. 2012;28(1):23-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.008>
28. Björck I., Nyman M., Asp N. G. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chemistry*. 1984;61(2):174-179. URL: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1984/Documents/Chem61_174.pdf
29. Wang W.-M., Klopfenstein C. F., Ponte J. G. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chem*. 1993;70(6):707-711. URL: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1993/Documents/70_707.pdf
30. Zhang Y., Li H., Li X., Gibril M. E., Yu M. Chemical modification of cellulose by in situ reactive extrusion in ionic liquid. *Carbohydrate Polymers*. 2014;99:126-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.084>
31. Lin Q., Huang Y., Yu W. An in-depth study of molecular and supramolecular structures of bamboo cellulose upon heat treatment. *Carbohydrate Polymers*. 2020;241:116412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116412>
32. Nessi V., Falourd X., Maigret J.-E., Cahier K., D'Orlando A., Descamps N., Gaucher V., Chevigny Ch., Lourdin D. Cellulose nanocrystals-starch nanocomposites produced by extrusion: Structure and behavior in physiological conditions. *Carbohydrate Polymers*. 2019;225:115123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115123>

33. Ralet M.-C., Thibault J.-F., Della Valle G. Solubilisation of sugar-beet cell wall polysaccharides by extrusion-cooking. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 1991;24(2):107-112.
URL: https://www.researchgate.net/publication/232091823_Solubilisation_of_sugarbeet_cell_wall_polysaccharides_by_extrusion-cooking
34. Hwang J. K., Kim C. J., Kim Ch. T. Extrusion of Apple Pomace Facilitates Pectin Extraction. *Journal of Food Science*. 1998;63(5):841-844. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb17911.x>
35. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. 2016;147:444-454.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
36. Peressini D., Foschia M., Tubaro F., Sensidoni A. Impact of soluble dietary fibre on the characteristics of extruded snacks. *Food Hydrocolloids*. 2015;43:73-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.04.036>
37. Sereno N. M., Hill S. E., Mitchell J. R. Impact of the extrusion process on xanthan gum behavior. *Carbohydrate Research*. 2007;342(10):1333-1342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2007.03.023>
38. Li R., Jia X., Wang Y., Li Y., Cheng Y. The effects of extrusion processing on rheological and physico-chemical properties of sesbania gum. *Food Hydrocolloids*. 2019;90:35-40.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.048>
39. Chang Y. H., Cui S. W., Roberts K. T., Ng P. K. W., Wang Q. Evaluation of extrusion-modified fenugreek gum. *Food Hydrocolloids*. 2011;25(5):1296-1301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.12.003>
40. Duan B., Huang Y., Lu A., Zhang L. Recent advances in chitin based materials constructed via physical methods. *Progress in Polymer Science*. 2018;82:1-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.04.001>
41. Herrera N., Salaberria A. M., Mathew A. P., Oksman K. Plasticized polylactic acid nanocomposite films with cellulose and chitin nanocrystals prepared using extrusion and compression molding with two cooling rates: Effects on mechanical, thermal and optical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2016;83:89-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.05.024>
42. Muzzarelli R. Chitosan-based dietary foods. *Carbohydrate Polymers*. 1996;29(4):309-316.
43. Kumara R., Xavier K. A. M., Lekshmi M., Balange A., Gudipati V. Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*. 2018;194:267-273.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.050>
44. Pedrosa M. M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and extruded legumes as a source of bioactive phytochemicals: a review. *Foods*. 2021;10(2):379. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10020379>
45. Singh S., Gamlath S., Wakeling L. Nutritional aspects of Food extrusion: A review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2007;42(8):916-929. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
46. Day L., Swanson B. G. Functionality of Protein-Fortified Extrudates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013;12(5):546-564. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12023>

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, д. 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-52090>, e-mail: anton.sharikov@gmail.com

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, д. 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Information about the authors

✉ Anton Yu. Sharikov, PhD in Engineering, Head of the Department, Department of food production equipment and membrane technologies, All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution «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/0000-0001-9483-52090>, e-mail: anton.sharikov@gmail.com

Maria V. Amelyakina, PhD in Engineering, researcher, Department of food production equipment and membrane technologies, All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution «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>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Фитобиотики в мировой практике: виды растений и действующие вещества, эффективность и ограничения, перспективы (обзор)

© 2021. Н. П. Тимофеев ✉

Крестьянское хозяйство БИО (Научно-производственное предприятие),
г. Коряжма, Российская Федерация

В обзоре рассмотрены исторические предпосылки внедрения и состояние использования (на 2021 год) фитогенных субстанций в качестве стимуляторов роста и продуктивности сельскохозяйственных животных. Подробно проанализированы основные аспекты применения фитобиотиков: 1) механизмы действия; 2) отличие фитобиотиков от лекарственных ветеринарных препаратов; 3) видовой ассортимент используемых растений и действующие вещества; 4) производственная эффективность. Рассмотрены ограничения и недостатки в применении существующих фитобиотиков: они не имеют прямого анаболического эффекта и не работают при сильном стрессе, а при сочетании негативных факторов не удается преодолеть отрицательный эффект. Кроме того, возникают проблемы по их безопасности. Другие ограничения – состав фитобиотиков варьируется в широких пределах, стандартизации по действующим веществам нет, а при попытках ее провести выявляется цитотоксичность в очень малых дозировках этих соединений (эфирные масла, сапонины, изохинолиновые алкалоиды). В перспективе дальнейших изысканий предлагаются уникальные растительные источники из России, отсутствующие за рубежом и содержащиеся в качестве биологически активных компонентов экдистероиды, недоступные в массово применяющихся в настоящее время фитогенных субстанциях. Отличительные свойства фитоекдистероидов и главного их представителя экдистерона: кормовые добавки с ними снимают сильный стресс, чего не могут делать обычные фитобиотики; имеют прямой анаболический эффект; оказывают плейотропный (множественный) эффект действия. Их применение в животноводстве не вызывает опасений, так как они относятся к безопасным веществам. Возможно сочетание таких субстанций с другими противомикробными средствами – с целью улучшения биодоступности и пролонгации действия активного вещества экдистерона.

Ключевые слова: полифенолы, сапонины, алкалоиды изохинолиновые, экдистероиды, производственная эффективность, токсичность и безопасность, перспективные вещества и растения

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

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тимофеев Н. П. Фитобиотики в мировой практике: виды растений и действующие вещества, эффективность и ограничения, перспективы (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(6):804-825. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.804-825>

Поступила: 26.08.2021

Принята к публикации: 01.12.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Phytobiotics in world practice: plant species and active substances, efficiency and limitations, perspectives (review)

© 2021. Nikolay P. Timofeev ✉

Scientific-Production Enterprise Farm "BIO", Koryazhma, Russian Federation

In the review the historical preconditions for implementation and the state of use (for 2021) of phytogetic substances as growth and productivity stimulators of farm animals are considered. The main aspects of phytobiotics use have been analyzed in detail: 1) mechanisms of action; 2) distinction between phytobiotics and veterinary medicines; 3) species range of the plants used and their active substances; 4) productive efficiency. The following limitations and disadvantages in the use of existing phytobiotics are considered: they do not have a direct anabolic effect and are useless under severe stress, and by the combination of bad factors the negative effect cannot be overcome. In addition, there are problems with their safety. Other limitations - the composition of phytobiotics varies widely, there is no standardization for active substances, and attempts to do this reveal cytotoxicity in very small dosages of these compounds (essential oils, saponins, isoquinoline alkaloids). In the prospect of further studies, unique plant sources from Russia are proposed, which are absent abroad and contain ecdysteroids as biologically active components, not available in the phytogetic substances widely used now. Distinctive properties of phytoecdysteroids and ecdysterone as their main representative are as follows: feed additives containing them relieve severe stress, conventional phytobiotics do not have such an effect; have direct anabolic effect; have pleiotropic (multiple) effect. Their use in livestock breeding does not cause fears, as they are safe substances. It is possible to combine such substances with other antimicrobial agents in order to improve bioavailability and prolong the action of the active ingredient of ecdysterone

Keywords: polyphenols, saponins, isoquinoline alkaloids, ecdysteroids, production efficiency, toxicity and safety, promising substances and plants

Acknowledgements: the work was done without financial support within the framework of the initiative topics.

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

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

For citations: Timofeev N. P. Phytobiotics in world practice: plant species and active substances, efficiency and limitations, perspectives (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):804-825. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.804-825>

Received: 26.08.2021

Accepted for publication: 01.12.2021

Published online: 15.12.2021

В основе высокой продуктивности животных лежит полноценное кормление на фоне благополучного санитарно-гигиенического содержания – прежде всего это сбалансированное нормированное кормление, наилучшим образом удовлетворяющее потребность животных в элементах питания (белки, жиры, углеводы, аминокислоты, витамины, макро- и микроэлементы). В детализированных нормах кормления сегодня дифференцированно отражены потребности разных видов животных на поддержание жизни, на образование продукции и репродукцию, исходя из протеиновой ценности и энергетической обеспеченности и т. д. [1]. Однако на практике наступают ограничения для живых систем, которыми являются иные трудноучитываемые и непредсказуемые биотические факторы внешней и внутренней среды, стрессовые состояния и гормональные изменения, загрязненность микрофлоры желудка патогенными микроорганизмами, а корма – токсическими веществами (синтетическими и природными). Все они комплексно влияют на здоровье животного, его иммунитет и сильно ограничивают реализацию генетического потенциала в практическом животноводстве.

К примеру, в таких высокоразвитых странах, как Англия и Шотландия, в недавнем прошлом около 6 % телят (иногда до 12 %) не доживали до 6 месяцев, при этом на первом месяце жизни происходило 64-75 % падежа [2]. В структуре падежа 41-46 % приходится на гибель от бактериального поражения коли-бацеллезом *Escheria coli*, поражающего в основном в первые 10 дней жизни, 11-24 % – от заражения сальмонеллезом *Salmonella spp.*, 7 % – от вирусов, 10 % – от отравлений различными токсикантами. Среди купленных телят частота падежа выше на 60 % в сравнении с доморощенными, что является прямым негативным последствием стресса при отборе, транспортировке и привыкании молодняка к новым условиям.

В другой такой агропромышленно развитой стране СНГ, как Республика Беларусь (РБ), по данным Научно-практического центра Национальной академии наук по животноводству РБ, уровень падежа в сегодняшних условиях свинокомплексов составляет в среднем 23-25 % с колебаниями от 2-5 до 37-57 %.

Основной падеж молодняка свиней происходит от рождения и до достижения им возраста 4 месяцев, а в более старшем возрасте, при зоогигиенически оптимальном уровне кормления и содержания, падеж, как правило, минимальный [3].

Для борьбы с бактериальными инфекциями в животноводстве с начала 1950-х годов были внедрены антибиотики; в 60-80-е годы для защиты от стресса начали применять транквилизаторы (психотропные препараты со снотворным и успокаивающим эффектом) [4]. В 50-80-е годы прошлого столетия для ускоренного роста мышц животных в Великобритании, Канаде, Австралии, Новой Зеландии и ряде других стран Европы использовали гормональные средства на основе синтетических аналогов женских и мужских половых гормонов (эстрогенов, прогестеронов, андрогенов), а также тиреоидных (тироксин) и гипогликемических (инсулин) гормональных средств [2, 5].

В настоящее время все эти средства стимулирования роста и продуктивности животных в большинстве стран мира запрещены или же находятся в стадии запрета. Наиболее долгосрочным оказалось использование антибиотиков микробиологического синтеза, которые до сих пор применяются в России, странах Таможенного союза и находятся в процессе замены альтернативными средствами растительного происхождения.

Цель обзора – обобщение данных научной литературы о видовом составе и биохимических веществах цветковых растений, используемых в составе фитобиотиков для зоотехнии и ветеринарии, предназначенных, прежде всего, для моногастричных животных.

Задача обзора: сбор информации о состоянии вопроса; обзор литературы из разных стран; систематизация и сравнение информации из различных источников; обзор тенденций в развитии; выделение новых и перспективных направлений исследований.

Материал и методы. Поиск источников проводили в библиографических базах данных, в научных электронных библиотеках с поисковыми системами: Web of Science (<http://www.webofscience.com>); Scopus (<https://www.scopus.com>); eLIBRARY.RU (<https://www.elibrary.ru>)

www.elibrary.ru); Springer (<https://www.springer.com>); Ecdybase (<https://ecdybase.org>); Wiley Online Library (<https://onlinelibrary.wiley.com>); Crossref (<https://search.crossref.org>); Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>); ЦНСХБ (<http://www.cnsnb.ru>).

В качестве источников литературы были приняты научные статьи на английском и русском языках (опубликованные на июль 2021 г.). В качестве ключевых слов использовали названия растений и их действующих веществ на латинском, русском и английском языках. Глубина поиска – с 1990 года (за исключением 1 монографии на английском языке). Основное внимание уделялось материалам за последние 3 года (2018-2021 гг.) – их доля в списке использованной литературы составила 44 %. Были исключены материалы, не имеющие доказательной базы (статьи в научно-популярных и нецензурируемых изданиях).

Подробно изучены официальные нормирующие документы: Регламент Европейского Парламента и ЕС по фитобиотикам; документы Европейского бюро ВОЗ; Руководства по растительным веществам в Европе и США, которые могут представлять опасность для здоровья человека и животных при использовании в составе пищевых и кормовых продуктов.

Основная часть

1. Антибиотики как переходный этап к внедрению фитобиотиков.

Антибиотики – продуценты микроорганизмов, таких как грибы (например, пенициллин) или бактерии (например, тетрациклин), или же они могут быть синтетическими или полусинтетическими веществами (например, фторхинолоны и амоксициллин) [4]. Изначально они применялись в качестве препаратов лечения под надзором ветеринарных врачей (индивидуально и в терапевтических дозах), а потом началось всемирное и бесконтрольное их использование в составе кормовых добавок (в субтерапевтических дозировках). Добавление кормовых антибиотиков в рационы питания животных было внедрено для профилактики размножения потенциально опасных патогенов с целью увеличения потребления корма и улучшения обмена веществ, повышения коэффициента использования кормов. То есть антибиотики в рационах сельскохозяйственных животных выступали как стимуляторы роста массы тела (AGP – Antibiotic Growth Stimulants).

Действие антибиотиков наиболее отчетливо проявляется у молодняка, когда защитная

система иммунитета недостаточно сформирована. Наибольший эффект наблюдается у моногастричных животных (в свиноводстве и птицеводстве). В плохих санитарных условиях использование антибиотиков может улучшить прирост живой массы животных и сократить расход кормов до 5-7 %, а иногда и до 11-15 %. В справочных материалах по антибиотикам приводятся следующие коммерчески положительные данные – на фермах систематическое применение антибиотиков приводит к ускорению роста животных в среднем на 6,7 % [4]. При строгом соблюдении санитарных условий в странах Европы эффект антибиотиков не превышает 4 % [6].

Однако в результате чрезмерного и глобального применения антибиотиков у бактерий, находящихся в организме людей и животных, развилась резистентность к этим препаратам, вследствие чего инфекции, которые в обычных условиях хорошо поддаются лечению антибиотиками, становится трудно, а иногда и невозможно излечить. Неудачи лечения приводят к росту заболеваемости и смертности от инфекций, а также к необходимости разрабатывать все новые антибиотики. Ежегодно в странах Европейского Союза свыше 25 000 человек умирают от инфекций, обусловленных антибиотико-резистентными бактериями [7].

Негативные эффекты антибиотиков – большее отложение подкожного жира вместо пищевого белка (ухудшение качества мяса); при постоянном применении приходится увеличивать дозы, которые, наоборот, снижают продуктивность. Другая проблема – антибиотики в организме животных имеют свойство накапливаться в отдельных органах и тканях, при кулинарной обработке такой продукции некоторые антибиотики не разрушаются. Третья проблема – дача антибиотиков может ослабить организм животного по отношению к неблагоприятным факторам внешней среды, поэтому племенным животным их применение не рекомендуется. Антибиотики – сильнодействующие вещества, отпускаются по списку Б. Запрещено принимать их не по назначению, смешивать два или более видов [4].

Еще в 1980-х годах в Англии пришли к выводу, что при идеальной организации содержания животных антибиотики нерегулярны и необязательны [2]. Глобальное применение кормовых AGP продолжалось до 1986 г., когда в Швеции запретили их использование. В 1995 году Дания и Норвегия запретили при-

менение авопарцина (гликопептидный антибиотик, сходный с антибиотиком ванкомицином в медицине). В 1997-1999 годах было прекращено применение в странах ЕС таких противомикробных препаратов, как авопарцин, ардацин, бацитрацин цинка, виргиниамидин, тилозин, спирамицин, карбадокс и олаквиндокс [8].

С 1 января 2006 г. все виды кормовых антибиотиков в странах ЕС были полностью запрещены, кроме как рецептурно предписанных ветеринарными врачами. Перед запретом был предоставлен двухлетний период (2004-2005 гг.) для перехода на альтернативные источники стимуляторов роста и продуктивности животных, такие как фитобиотики и другие зоотехнические добавки, например, пробиотики и пребиотики¹.

В США использование антибиотиков запрещено с 1 января 2017 года в результате принятия новой Директивы Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) по ветеринарным кормам [9]. Аналогичным образом ограничения на использование антибиотиков также были введены в странах Азии – Корея, Вьетнам и Китай, в Австралии и в странах Латинской Америки [10]. В других странах применение AGP пока еще не запрещено, но в ближайшем будущем намереваются это сделать. Позиция ВОЗ и Европейского Совета – применение антибиотиков в кормах в качестве стимуляторов роста продукции животноводства необходимо прекратить, они должны использоваться только для лечения животных, и только в терапевтических дозах. Страны должны стремиться к ограничению масштабов применения антибиотиков, улучшая состояние здоровья животных путем осуществления мероприятий по биобезопасности и предупреждения болезней, а также создания хороших санитарно-гигиенических условий и надлежащего управления процессом² [7].

Риск отмены кормовых антибиотиков может быть ликвидирован без какого-либо вреда для сельскохозяйственных животных или ущерба для экономики производства пищевых продуктов. Чтобы свести к минимуму количество инфекций и сократить объемы применения антибиотиков, необходимо прила-

гать усилия для улучшения состояния здоровья животных, а также предупреждать заболевания благодаря применению профилактических мер, переходя на использование фитобиотиков (альтернативные растительные противомикробные средства) в сочетании с пробиотиками (полезные бактерии, находящиеся в различных кормовых добавках) и пребиотиками (неперевариваемые корма, которые способствуют росту и размножению пробиотических микроорганизмов) [11].

II. Фитобиотики и основные аспекты их применения. Фитобиотики (фитогеники или кормовые добавки растительного происхождения) – это природные биологически активные соединения растительного происхождения, используемые в питании животных. Прошедший опыт 15 лет после запрета антибиотиков (с 2006 года) в развитых странах показал, что фитобиотики могут быть успешным решением в качестве замены кормовых антибиотиков в рационе питания животных, в первую очередь, для моногастричных (свиньи, цыплята-бройлеры, куры, индейки), а также телят и коров молочного направления, рыб в аквакультуре [10].

1. Механизмы действия. Фитобиотики включаются в рационы сельскохозяйственных животных для стимулирования прироста живой массы и повышения продуктивности, а также для улучшения качества продуктов питания, полученных из этих животных. Они включают широкий спектр трав, специй и растительных продуктов, таких как ароматические и лекарственные растения в цельном виде или их части, их экстракты, специи и эфирные масла. Благоприятное воздействие трав или растительных веществ на животных может быть связано с активизацией приема корма и стимуляцией выработки пищеварительного секрета, иммунной стимуляцией, антибактериальной, кокцидиостатической, антигельминтной, противовирусной или противовоспалительной активностью и антиоксидантными свойствами. Применение фитобиотиков у животных может способствовать положительным морфологическим и гистологическим изменениям желудочно-кишечного тракта – удлинению ворсинок слизистой оболочки, стимуляции эпителиальных клеток, высвобождению противовоспалительных цитокинов [10].

¹Регламент Европейского Парламента и Совета (ЕС) № 1831/2003 от 22 сентября 2003 г. о добавках, применяемых в кормлении животных. Официальный Журнал Европейского Союза. 2003. Режим доступа: <https://www.fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/laws/registration/1831-2003.pdf>

²Там же.

Считается, что антимикробный механизм действия возникает в основном из-за способности гидрофобных эфирных масел проникать в мембрану бактериальной клетки, разрушать мембранные структуры и вызывать утечку ионов. Это изменение приводит к нарушению основных клеточных процессов, таких как транспорт электронов, транслокация белков, окислительное фосфорилирование и другие фермент-зависимые реакции, приводящие к потере осмотического давления клеток и, как следствие, к бактериальной гибели. Другое действие может быть связано с ферментативным ингибированием синтеза ДНК и РНК, жизненно важных белков у бактериальных клеток, приводящим к быстрому истощению внутриклеточного пула АТФ и одновременно увеличению его гидролиза. Третьим проявлением антимикробного действия фитогенных кормовых добавок является улучшение микробиологической гигиены туш за счет влияния эфирных масел, например, из травы орегано (душицы) на микробную нагрузку жизнеспособных патогенных бактерий.

Наконец, травы с биологически активными веществами могут способствовать удовлетворению потребностей животных в питательных веществах и стимулировать эндокринную систему и промежуточный метаболизм питательных веществ, а также оказывать противовоспалительное и иммуностимулирующее действие. Такие растения могут улучшать активность лимфоцитов, макрофагов и НК-клеток (натуральных киллеров, являющихся частью врожденной иммунной системы); увеличивать процесс фагоцитоза или стимулировать синтез интерферонов, приводящий к улучшению иммунного ответа, а также способны вызывать положительные изменения слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки [12]. Кроме того, предполагается, что стимуляция пищеварительной секреции (например, слюны), желчи и слизи, а также повышенная активность ферментов поджелудочной железы (в частности, трипсина и амилазы у бройлеров) являются предпосылкой для повышения усвояемости питательных веществ. Общий положительный эффект можно резюмировать как благоприятное воздействие на микробиоту кишечника с меньшей патогенной активностью в тонком кишечнике и, как следствие, меньшим воздействием микробных токсинов на иммунную систему и улучшенным пищеварением.

В целом влияние фитобиотиков на продуктивность животных тесно связано с функционированием различных физиологических систем, где отмечается почти строгая взаимосвязь между снижением сопротивляемости организма и повышением активности свободнорадикальных процессов. Избыточное количество свободных радикалов крайне неблагоприятно сказывается на здоровье животных, их устойчивости к заболеваниям, снижает продуктивность и качество продукции. Наиболее высокая корреляция снижения системы антиоксидантной защиты наблюдается в связи со стрессовыми факторами, сопутствующими выращиванию (отъем, формирование групп и перегруппировка, резкая смена рациона и качества самих кормов, транспортировка) [13, 14].

Добавление фитогеников с антиоксидантными свойствами в рационы свиней на предубойном откорме считается эффективным средством улучшения качества откорма. К примеру, включение в рацион свиней витамина Е (200 мг/кг) и эфирного масла орегано (0,025 % рациона) за 28 дней до убоя снизило рН туши через 45 минут после забоя на 3,6 и 4,0 % соответственно. Однако стресс во время транспортировки свиней увеличил потери веса через 24 часа после забоя на 49,6 % по сравнению с контрольной группой. Тем не менее, диетические добавки с душицей были более эффективны, чем синтетический витамин Е, в смягчении последствий транспортного стресса у откормочных свиней [15].

Многие кормовые антиоксиданты синтетического происхождения могут угнетать иммунную систему, что, в свою очередь, ведет к подавлению механизма защиты от патогенной микрофлоры, поэтому они запрещены во многих странах [16]. Вещества фитобиотиков, как антиоксиданты, не имеют негативных последствий и способствуют защите кормовых липидов от пагубного воздействия реакций автоокисления. Включение полифенольных растительных субстанций в рационы свиней, кроликов и жвачных животных может улучшить качество продуктов (включая органолептические характеристики и профиль жирных кислот), окислительную стабильность и сроки хранения. В туше животных после убоя из-за подавления процессов неблагоприятного окисления не происходит накопления неприятных запахов и потери цвета. Травы и специи могут защитить и сам корм от окислительного раз-

рушения при хранении, замедляя скорость окисления липидов, минимизируя прогорклость и образование токсикантов [17].

2. *Отличие фитобиотиков от лекарственных препаратов.* Исходя из большого разнообразия сырья, общей чертой фитобиотиков являются сложные комбинации биологически активных соединений, а не одно конкретное вещество, как в случае лекарственного препарата. Многие эфиромасличные растения и специи, применяемые сегодня как фитобиотики, на протяжении всей истории использовались в этноветеринарной практике для управления здоровьем животных (в гигиенических и лечебных целях). Видовой состав трав и эфирных масел, наиболее часто используемых в традиционной ветеринарии стран Европы, в большинстве случаев тот же самый, что используется сегодня в качестве фитобиотиков, но в гораздо меньших концентрациях и без стандартизации действующих веществ. К ним относятся: тмина семя (*Carum carvi*), цитрусовое масло (*Citrus spp.*), фенхеля семя (*Foeniculum vulgare*), ромашки соцветия (*Matricaria recutita*), мяты трава (*Mentha spp.*), аниса плоды (семена *Pimpinella anisum*), хвойных скипидар (*Pinus spp.*), шалфея лист (*Salvia officinalis*), гвоздики почки и плоды (*Syzygium aromaticum*), тысячелистника экстракт (*Achillea millefolium*); арники экстракт (*Arnica montana*); ладанного дерева смола (*Boswellia sacra*);

имбиря корнеплод (*Zingiber officinale*), куркумы корень (*Curcuma longa*) [6].

По этой причине необходимо юридически проводить различие между лекарственными (фармацевтическими) препаратами и кормовыми добавками с точки зрения повышения продуктивности животных (табл. 1). Использование кормовых добавок отличается от применения ветеринарных препаратов, которые используются в виде готовых лекарственных средств для профилактики и лечения диагностированных проблем со здоровьем под контролем ветеринара в течение ограниченного периода времени и часто имеют период ожидания после употребления.

Ветеринарное лечение – это все виды лечения или профилактики, направленные против конкретного случая возникновения определенного заболевания. Ветеринарные лекарственные препараты: а) любое вещество или комбинация веществ, имеющие свойства для лечения или профилактики заболеваний у животных; б) любое вещество или комбинация веществ, которые могут быть использованы животным с целью либо восстановления, либо коррекции и изменения физиологических функций; в) оказывают фармакологические, иммунологические или метаболические действия; г) зарегистрированы в Государственном реестре.

Таблица 1 – Принципы использования фитобиотиков в сравнении с ветпрепаратами [6] /

Table 1 – Principles of phytobiotics versus veterinary drugs [6]

Показатель / Indicator	Кормовые добавки / Feed additives	Ветеринарные препараты / Veterinary drugs
Пользователь, заявитель / User/applicant:	Фермер, производитель кормов / Farmer, feed producer	Только ветеринар / Veterinarian only
Животные / Animals	Здоровые животные / Healthy animals	Больные животные / Sick animals
Цель использования / Aim of use	Повысить продуктивность / Improve productivity	Восстановить здоровье / Restore health
Длительность применения / Duration of use	Постоянно / Permanently	Временно / Temporarily
Безопасность / Safety	Рисков нет, тщательная проверка перед регистрацией / No safety risk accepted, severe safety check before authorization	Риски (анализ выгоды); периоды ожидания / Risk - benefit analysis; waiting periods

Фитобиотическое применение в кормах – регулируется ограничительными правилами³:

1. Фитобиотики являются продуктами, применяемыми без ограничений фермерами или другими пользователями в отношении

здоровых животных в рационах питания на постоянной основе (т. е. в течение всего периода производства соответствующего вида и категории продукции).

³Там же.

2. Кормовые добавки должны продемонстрировать идентичность всей линии коммерческого продукта, эффективность заявленных эффектов.

3. Фитобиотики и их действующие вещества заранее должны быть испытаны и быть безопасными для животных и пользователей – фермеров, работников комбикормового завода, потребителей продуктов животного происхождения, окружающей среды.

3. *Ассортимент используемых растений и действующие вещества.* Существует огромное разнообразие фитогенных продуктов, источником которых являются: деревья (хвоя и древесная зелень); травы (цветущие недревесные растения); специи (травы с интенсивным запахом или вкусом, обычно добавляемые к пище человека); эфирные масла (летучие липофильные соединения, полученные холодным отжимом, паровой или спиртовой дистилляцией); экстракты, полученные с помощью водных, спиртовых и других органических растворителей.

Видовой ассортимент действующих веществ фитобиотиков в странах Европы и Азии – это широкий спектр трав, специй и продуктов с эфирными маслами, полученных из растений, обладающих запахом и другими характерными свойствами, часто используемых в производстве пищи, парфюмерии, ароматизаторов и фармацевтических препаратов. Ряд эфирных масел обладает различной степенью антимикробной активности и, как полагают, противовирусными, нематоцидными, противогрибковыми, инсектицидными и антиоксидантными свойствами [12, 18]. Фитогенные соединения эфиромасличных трав, по аналогии использования их в пище человека, способствуют усилению аппетита и выработке кишечной слизи, обладают способностью влиять на микрофлору. Обычно используют травы и специи, богатые флавоноидами, витамином С, каротиноидами; терпеноиды и полифенолы представляют собой наиболее биологически активные классы их химических компонентов.

Ассортимент. Используемые на практике виды растений обычно принадлежат к 4-5 ботаническим семействам. По частоте использования – яснотковые или губоцветные (*Labiatae*); зонтичные или сельдерейные (*Umbelliferae*, *Apiaceae*); сложноцветные (*Asteraceae*, *Compositae*); паслёновые (*Solanaceae*), имбирные (*Zingiberaceae*); капустные (*Brassicaceae*).

Среди множества растений, содержащих антиоксидантные компоненты, наибольший интерес вызывают летучие масла семейства губоцветных, особенно продукты из розмарина. Их антиоксидантная активность обусловлена фенольными терпенами – розмариновая кислота и розмарол. Другими видами из сем. *Labiatae*, обладающими значительными антиоксидантными свойствами, являются тимьян и орегано, которые содержат большое количество монотерпенов, тимола и карвакрола.

На втором месте растения из семейства зонтичных (например, анис и кориандр). Кроме того, используемые в составе фитобиотиков представители семейства паслёновых – перец черный, перец красный и чили – содержат повышенное количество антиоксидантных и противомикробных компонентов. Растения, богатые флавоноидами (зеленый чай) и антоцианами (жом и мезга фруктов и ягод после переработки на сок), имбирь и куркума также описаны, как обладающие антиоксидантными свойствами.

Из известных в общей сложности около 1500 видов ароматических растений примерно 50 видов находят применение в качестве коммерческого источника эфирных масел, а количество тех, которые регулярно и широко используются в составе фитодобавок, едва превышает два десятка видов [19].

Видовой состав важнейших растений в составе фитобиотиков стран Европы (в алфавитном порядке): анис (*Pimpinella anisum*); базилик душистый (*Ocimum basilicum*); гвоздика (*Syzygium aromaticum*); горчица (*Brassica nigra*); имбирь (*Zingiber officinalis*), кориандр (*Coriandrum sativum*); корица (*Cinnamomum zeylanicum*); майоран (*Origanum majorana*); мята перечная (*Mentha piperita*); пажитник (*Trigonella foenum-graecum*); перец стручковый (*Capsicum annuum*); перец черный (*Piper nigrum*); петрушка (*Petroselinum crispum*); розмарин лекарственный (*Rosmarinus officinalis*); сельдерей (*Apium graveolens*); тмин (*Thymus vulgaris*); тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris*); хрен (*Armoracia rusticana*); чеснок (*Allium sativum*) и т. д. [11, 12, 19].

В ассортименте сырьевых источников для фитобиотиков в Европе присутствуют лекарственные растения иммуно-стимулирующего и противовирусного характера (в частности, против вируса гриппа и вируса эпидемической диареи свиней) – эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*), солодка голая

(*Glycyrrhiza glabra*) [20]. Рассматривается возможность использования сапонинсодержащих растений: люцерны посевной (*Medicago sativa*) и маклеи сердцевидной (*Macleaya cordata*) исходя из предположения, что сапонины могут стимулировать иммунную систему слизистых оболочек кишечника к формированию неспецифических иммунных ответов, в частности, для снижения уровня продуцирования противовоспалительных цитокинов [21]. Нетрадиционные растения, используемые в России для моногастричных: хвойные, топинамбур, свекла, морковь, тыква, люцерна, облепиха, отходы технической переработки пряно-ароматических растений [22].

Действующие вещества. Активными соединениями фитобиотиков являются терпеноиды (моно- и сесквитерпены), альдегиды, кетоны, сложные эфиры, простые эфиры, лактоны, гликозиды, полифенольные соединения, танины (дубильные вещества), алкалоиды и т. д. В составе фитогенных кормовых добавок содержание активных веществ в продуктах может широко варьироваться в зависимости от используемой части растения (например – соцветия, лист, плоды-семена, корень или кора), сезона сбора урожая (фенологической фазы развития) и факторов окружающей среды (климат и условия среды обитания) [23].

Наиболее активные вторичные метаболиты фитобиотиков относятся к классу терпеноидов, флавоноидов и глюкозинолатов, а также стероидов и сапонинов. Эффекты – противомикробное, противовоспалительное, антиоксидантное, антипаразитарное и противовирусное действие; увеличение потребления корма, повышение усвояемости питательных веществ. Поликонденсированные фенолы (танины) связывают белки, полисахариды, другие биополимеры и предохраняют их от разложения микрофлорой желудка, имеют терпкий вяжущий вкус и подавляют рост патогенных микроорганизмов. Некоторые полифенольные соединения метаболизируются в желудочно-кишечном тракте при посредничестве бактериальных ферментов, что играет важную роль в биодоступности фенольных гликозидов [24].

Другие фенолы (флавоноиды, фенольные кислоты, лигнаны и стильбены) играют значительную роль в борьбе с патологиями, связанными с воспалением и дегенерацией тканей. Они оказывают стимулирующее действие на кишечник и предотвращают хронические дегенеративные заболевания, влияют

на функционирование скелетной системы и процесс обновления костей через физиологическое равновесие между прооксидантами и антиоксидантами [25].

Антиоксидантный потенциал лекарственных, пряных и эфиромасличных растений всего связан с концентрацией следующих веществ: флавоноидов (кверцетин, мирицетин, морин, катехин, эпигаллокатехин, галлат, цианидин, мальвидин, дигидрокверцетин, рутин и т. д.); гидролизуемых дубильных веществ, проантоцианидинов, фенольных кислот (бензойные, коричные, производные кумарина); фенольных терпенов (различные эфирные масла); витаминов (А, С и Е) и каротиноидов. Наиболее важными и сильными антиоксидантами являются биофлавоноиды (дифенилпропаны с общей структурой $C_6-C_3-C_6$, где два ароматических кольца связаны через три атома углерода; их известно более 6,5 тысяч) и терпеноиды (летучие жидкие смеси эфирных масел с общей формулой $(C_5H_8)_n$; известно около 1 тысячи). Сравнительное суммарное количество антиоксидантов в разных специях (по влиянию на степень окисления стандартного вещества кверцетина) составляет от 1-3 % (корица, куркума, базилик, перец красный, зелень петрушки, пажитник, гвоздика) до 0,2-0,3 % (кориандр, фенхель, тмин) [26].

Такие вещества способствуют защите кормовых липидов от пагубного воздействия реакций автоокисления, могут влиять на метаболизм липидов у животных, стимулируя накопление более высокого уровня полиненасыщенных жирных кислот в различных тканях. Как следствие, происходит улучшение характеристик продуктов животного происхождения – улучшенная окислительная стабильность туши, мяса, жира и яичного желтка, вызванная антиоксидантными полифенольными соединениями (флавоноидов, каротиноидов, антоцианов) или терпеноидов эфирных масел [6, 12, 15].

Синергический эффект смеси разных видов. Выявлено преимущество синергического действия неочищенных экстрактов в сравнении с очищенными веществами эфирных масел, изолированными из тех же растений. Индейки, которых кормили цельными сушеными листьями орегано (душицы) в дозе 1,25-3,75 г/кг, показали улучшенный коэффициент конверсии корма в сравнении с изолированными из этого же растения веществами карвакролом и тимолом. При изучении действия одного тимола (в четырех концентрациях от 0,1 до 1,0 %)

в качестве кормовой добавки у бройлеров существенной разницы с контролем в продуктивности за весь период (35 дней) не наблюдалось [6]. Еще больше положительных результатов в отношении продуктивности животных получено при использовании смесей из нескольких трав. Однако уровень включения ароматических растений в рацион, необходимый для значимого положительного влияния на антиоксидантный статус, к примеру, на продуктивность кур-несушек, достаточно большой – 0,9-1,0 (0,5-2,5) % [27] и может создать проблемы с безопасностью.

Предполагают, что антимикробная активность эфирных масел в составе фитобиотиков является результатом взаимодействия между различными классами соединений, присутствующими в них [28]. Значительный синергический антимикробный эффект из действующих веществ оказывают фенолы, которые в основном присутствуют в смесях в наибольшем процентном соотношении; за ними следуют спирты, альдегиды, кетоны и простые эфиры, в то время как антибактериальный эффект углеводородов низкий. Несмотря на то, что антимикробный эффект в основном объясняется фенолами, не следует игнорировать влияние компонентов, присутствующих в следовых количествах, из-за их потенциального взаимодействия, которое может повлиять на комплексную антимикробную активность.

4. Влияние на эффективность стимуляции роста и продуктивности животных. Первичный механизм действия фитобиотиков, способствующих увеличению роста, проистекает из стабилизации гигиены корма и благотворного воздействия на экосистему желудочно-кишечной микробиоты путем контроля потенциальных патогенов. Это имеет особое значение для критических фаз в производственном цикле, характеризующихся высокой восприимчивостью животного к расстройствам пищеварения: отъем у поросят или ранний период жизни у домашней птицы; период группировки поголовья при постановке на откорм.

Литературные данные по биологической эффективности кормовых добавок растительного происхождения, обобщенные в таблице 2 [23], представляют разрозненную картину. Тем не менее, большинство экспериментальных результатов указывают на снижение потребления корма при практически неизмен-

ном приросте и конечной живой массе, что приводит к улучшенному соотношению корм/продукция при скармливании фитогенных соединений).

Согласно приведенным в таблице 2 аналитическим данным [23], увеличение среднесуточного прироста в птицеводстве от применения фитобиотиков обычно составляет +1...+3 %, в ряде случаев был получен нулевой результат или же уменьшение прироста на 2...3 %. Аналогичные результаты эффективности были получены и в свиноводстве (табл. 3). Дозировки в корме составляли от 0,1 г/кг (0,01 %) до 2-5 г/кг (0,2-0,5 %). Из 26 опытов положительные результаты регистрировались в половине случаев (+1...+5 %), в других фиксировалось снижение прироста (4...7 %).

У свиней улучшение продуктивности выражалось в среднем на 2 % по показателю среднесуточного прироста и на 3 % по эффективности преобразования корма в продукцию; в диапазоне от -5 % до + 9 % по изменению массы тела. Эти цифры сопоставимы с потенциалом «обычных» стимуляторов роста (антибиотики, пробиотики), где преимущества примерно до 4 % описаны в соответствующей литературе [10].

В целом имеющиеся данные указывают на то, что растительные кормовые добавки могут быть дополнением к набору неантибиотических стимуляторов роста, используемых в животноводстве, таких, как пробиотики и пребиотики, и имеют потенциал для улучшения производственных показателей продуктивности. В условиях интенсивных технологий животноводства фитобиотики нивелируют такие явления, как снижение иммунного и антиоксидантного статуса животных, обеспечивая повышение всех видов продуктивности, примерно на 2-4 %.

Однако существующие фитобиотики, как и ранее антибиотики, перестают работать в условиях сильного стресса и не имеют прямого анаболического эффекта. Кроме того, возникают проблемы по их безопасности.

III. Ограничения и недостатки в применении существующих фитобиотиков. Расширенное использование фитобиотиков в странах ЕС в значительной степени было обусловлено запретом на большинство антибиотиков в кормах из-за возникновения устойчивости у патогенной микробиоты.

ОБЗОРЫ / REVIEWS

Таблица 2 – Влияние фитобиотиков из различных источников на продуктивность сельскохозяйственной птицы (бройлеры, индейки и перепела) [23] /

Table 2 – Effect of phytobiotics from different sources on the productivity of poultry (broilers, turkeys and quail) [23]

Phytobiotic feed additive	Dietary dose (g/kg)	Treatment effects, % difference from untreated control				References
		feed intake	body weight	average daily gain	feed conversion rate*	
BROILERS						
<i>Plant extracts</i>						
Oregano	0.15	-6	-	-2	-4	Basmacioglu et al., 2004
Oregano	0.3	-3	-	+1	-2	Basmacioglu et al., 2004
Rosemary	0.15	0	-	-1	-1	Basmacioglu et al., 2004
Rosemary	0.3	-2	-	+1	-4	Basmacioglu et al., 2004
Thymol	0.1	+1	-	+1	-1	Lee et al., 2003
Cinnamaldehyde	0.1	-2	-	-3	0	Lee et al., 2003
Thymol	0.2	-5	-	-3	-3	Lee et al., 2003
Carvacol	0.2	+2	-	+2	-1	Lee et al., 2003
Yucca extract	2.0	-1	-	+1	-6	Yeo and Kim, 1997
Essential oil blend	0.024	-4	-0	-	-4	Cabuk et al., 2006
Essential oil blend	0.048	-5	0	-	-6	Cabuk et al., 2006
Plant extracts ¹	0.2	-	-2	0	-2	Hernandez et al., 2004
Plant extracts ¹	5.0	-	+2	+3	-4	Hernandez et al., 2004
Plant extracts ¹	0.5	0	-2	-2	+2	Botsoglou et al., 2004a
Plant extracts ¹	1.0	+2	-1	0	+2	Botsoglou et al., 2004a
Essential oil blend	0.075	-7	-	-3	-4	Basmacioglu et al., 2004b
Essential oil blend	0.15	-7	-	-1	-1	Basmacioglu et al., 2004b
Essential oil blend	0.036	+3	-8	-	-5	Alcicek et al., 2004
Essential oil blend	0.048	+2	-8	-	-4	Alcicek et al., 2004
Plant extracts ¹	0.1	+1	-	+1	0	Lee et al., 2003
Essential oil blend	0.024	-2	0	-	-2	Alcicek et al., 2003
Essential oil blend	0.048	0	+14	-	-12	Alcicek et al., 2003
Essential oil blend	0.072	-2	+8	-	-9	Alcicek et al., 2003
<i>Herbs and spices</i>						
Oregano	5.0	+5	-	+7	-2	Florou-Paneri et al., 2006
Thyme	1.0	+1	+2	-	-1	Sarica et al., 2005
Garlic	1.0	-5	-5	-	0	Sarica et al., 2005
Herb mix	0.25	0	-	+2	-2	Guo et al., 2004
Herb mix	0.5	+5	-	+2	+3	Guo et al., 2004
Herb mix	1.0	+2	-	+1	+1	Guo et al., 2004
Herb mix	2.0	+1	-	+1	0	Guo et al., 2004
TURKEYS						
<i>Herbs and spices</i>						
Oregano	1.25	-5	+2	-	-	Bampidis et al., 2005
Oregano	2.5	-6	+1	-	-	Bampidis et al., 2005
Oregano	3.75	-9	+1	-	-	Bampidis et al., 2005
QUAIL						
<i>Essential oil</i>						
Thyme	0.06	0	-	+6	-	Denli et al., 2004
Black seed	0.06	+1	-	+2	-	Denli et al., 2004
<i>Herbs and spices</i>						
Coriander	5.0	+3	-	+1	+1	Giller et al., 2005
Coriander	10.0	+3	-	+5	-1	Giller et al., 2005
Coriander	20.0	+4	-	+8	-4	Giller et al., 2005
Coriander	40.0	+5	-	+4	+1	Giller et al., 2005

¹Entire product

Комментарии к таблице 2. Учитывались диетическая доза (г/кг) и эффект применения в сравнении с контролем (%). Учитываемые показатели: потребление корма (feed intake); среднесуточный прирост (average daily gain); живая масса (body weight); конверсия корма (feed conversion ratio). Видовой состав фитобиотиков – экстракты эфиромасличных и пряно-ароматических растений (одинарно и в смеси) – душицы (орегано), розмарина, тимьяна, кориандра, чеснока, юкки (маниока) с сапонинами. Дозировки веществ в корме: 0,1-0,2 г/кг (0,01-0,02 %); смеси масел эфирных 0,024-0,075 г/кг (0,0024-0,0075 %); цельных трав лекарственно-ароматической группы 1-5 г/кг (0,1-0,5 %) /

Comments to Table 2. The dietary dose (g/kg) and the effect of application in comparison with the control (%) were taken into account. The indicators taken into account: feed intake; average daily gain; body weight; feed conversion. The specific composition of phytobiotics in the table is extracts of essential oil and spicy-aromatic plants (singly and in a mixture) - oregano (oregano), rosemary, thyme, coriander, garlic, as well as yucca (cassava) with saponins. Dosage of substances in the feed: 0.1-0.2 g /kg (0.01-0.02%); mixtures of essential oils 0.024-0.075 g /kg (0.0024-0.0075%); whole herbs of the medicinal aromatic group 1-5 g/ kg (0.1-0.5%).

Таблица 3 – Влияние пряно-ароматических трав и их эфирных масел в качестве кормовых добавок на продуктивность поросят [6] /

Table 3 – Effect of spicy aromatic herbs and their essential oils as feed additives on piglet productivity, according [6]

Feed additive	Dietary dose (g/kg)	Treatment effects (% difference to untreated control)				References
		feed intake	body weight	daily weight gain	feed conversion rate*	
Essential oils						
Caraway	0.1	-9/-2	-/0	-7/-	-3/-2	Schone et al.
Cinnamon	0.1	+5	+2	-	+3	Gollnisch et al.
Cinnamon	0.1	-5	0	-	-5	Wald et al.
Clove	(5 ml)	-5	-	0	-5	Tartrakoon et al.
Clove	0.1	+1	-	-	+3	Gollnisch et al.
Clove	0.1	+3	-	-	-4	Wald et al.
Essential oil blend	0.04	+4	-	+6	-2	Kroismayr et al.
Essential oil blend	0.1	+3	-	0	+3	Gollnisch et al.
Fennel	0.1	+3/+3	-	+4/-	-2/-3	Schone et al.
Lemongrass	(5 ml)	-3	-	+2	-5	Tartrakoon et al.
Lemongrass	0.1	-2	+2	-	-4	Wald et al.
Oregano	0.1	+3	+2	-	0	Gollnisch et al.
Oregano	0.1	0	+5	-	-5	Wald et al.
Oregano	0.5	-3	+7	-	-9	Gunther and Bossow
Oregano	0.5	+12	+23	-	-9	Kyriakis et al.
Peppermint	(5 ml)	-4	-	-3	-2	Tartrakoon et al.
Peppermint	0.1	-9	-3	-	-7	Wald et al.
Pimento	0.1	-8	-4	-	-5	Wald et al.
Herbs and spices						
Coriander	2.0	+4	+7	-	-3	Schuhmacher et al.
Garlic	1.0	-7/+5	+2/+1	-	-8/+4	Schuhmacher et al.
Oregano	2.0	-1/+4	+9/+5	-	-10/0	Schuhmacher et al.
Sage	2.0	+3	+7	-	-4	Schuhmacher et al.
Thyme	2.0	+4	+6	-	-3	Schuhmacher et al.
Thyme	1.0	-1	+1	-1	-4	Hagmuller et al.
Thyme	5.0	-1	-2	-1	+4	Hagmuller et al.
Yarrow	2.0	+1	+4	-	-4	Schuhmacher et al.

*Feed conversion rate: kg feed/kg body weight gain

Комментарии к таблице 3. Учитываемые показатели: потребление корма (feed intake); среднесуточный прирост (average daily gain); живая масса (body weight); конверсия корма (feed conversion ratio) /

Comments to Table 3. Considered indicators: feed intake; average daily gain; body weight; feed conversion ratio.

Ограничения и недостатки заключаются в следующем:

Недостаточно экспериментальных данных в условиях реального производства. В большинстве случаев сообщается про высокие показатели эффективности в условиях пробирочной культуры (*in vitro*), но соответствующие экспериментальные данные в условиях практического животноводства (*in vivo*) ограничены [11]. Несмотря на ряд преимуществ в условиях клеточных анализов *in vitro*, эти испытания обладают серьезными ограничениями. Наиболее важно то, что системы клеточных культур могут дать только приблизительное представление о новом продукте, поскольку они не моделируют сложные физио-

логические процессы в живом организме. Одностороннее использование пробирочных испытаний в ходе токсикологической оценки может привести к переоценке или недооценке токсикологических свойств. Поэтому существует необходимость окончательной оценки на живых системах, в условиях *in vivo*.

Фитогенные кормовые добавки на практике не всегда улучшают вкусовые качества кормов и производственные показатели. Часто получается зависимое от дозы снижение вкусовых качеств свинины при скармливании животным добавок, содержащих эфирные масла фенхеля и тмина, а также трав тимьяна и орегано. Еще одно предположение в отношении фитогенных кормовых добавок – это

стимуляция иммунных функций; однако конкретные экспериментальные проверки на сельскохозяйственных животных с однокамерным желудком весьма ограничены. Например, использование эхинацеи *Echinacea purpurea* в кормлении свиней выявило усиление иммунной стимуляции после вакцинации, но значительно снизило потребление корма у бройлеров и кур-несушек [23].

Стимулирующий эффект эфирных масел (коэффициент конверсии корма, среднесуточный прирост) не так очевиден. Указывается на добровольное сокращение потребления корма поросятами при увеличении количества фенхеля, тимьяна и травы душицы в рационе. В рамках рандомизированного исследования на приемлемость их в качестве кормовых добавок для свиней значительное предпочтение было отдано стандартному корму без включения ароматических трав. В этих экспериментах животные могли свободно выбирать между стандартным кормом без трав и двумя концентрациями отдельных трав (0,12 и 1,2 % соответственно) или же смесями обеих трав (0,06 и 0,6 % каждого вида соответственно) [6].

Слабый анаболический эффект. В целом фитобиотики являются равноценной заменой синтетическим антибиотическим веществам. При использовании в рационах антибиотиков, стимулирующих рост, эффективность может быть повышена в среднем на 2-5 % [29], при стимулировании фитобиотиками, среднесуточный прирост животных ограничен теми же цифрами.

Фенольные соединения (флавоноиды и терпеноиды эфирных масел) являются основными биологически активными компонентами фитобиотиков. Наибольший интерес в Европе вызвало использование местных растений средиземноморской флоры из семейства губоцветных *Labiatae*, среди которых наиболее популярными представителями являются тимьян, орегано (душица) и шалфей [23].

Однако классические фитобиотики на основе полифенолов (терпеноидов и флавоноидов) в качестве главных действующих веществ перестают работать в условиях стресса и не имеют прямого анаболического действия (масса тела в экспериментах значимо не превышает вариант контроля). Эффект среднесуточного прироста не постоянен, и зачастую, наблюдается обратный эффект. Отрицательные показатели обычно проявляются в условиях действия сильного стресса [10].

Ограничения в условиях стресса. Неэффективными или слабоэффективными являются компоненты существующих фитобиотиков при температурном стрессе. У кур-несушек, выращенных в условиях низких температур (6-8 °С) и получавших комбинацию эфирного масла перечной мяты и тимьяна, улучшилась продуктивность (увеличение яйценоскости, массы и качества яйца) по сравнению с контрольными вариантами [27]. И наоборот, куры при умеренном тепловом стрессе (24 °С), получавшие смесь эфирных масел из орегано, лавра, шалфея, семян фенхеля, мирта и кожуры цитрусовых, не показали улучшения производственных показателей или качества яиц. Точно также, включение эфирного масла фенхеля в рацион кур-несушек, находящихся в условиях высокого теплового стресса (34 °С), не повлияло на параметры продуктивности по сравнению с курами, содержащимися при температуре 24 °С.

Изменчивость и непостоянство состава фитобиотиков. Фитогенные кормовые добавки могут широко варьироваться в зависимости от ботанического происхождения, технологической обработки и состава веществ. Поэтому они:

1. Сложны для количественной оценки и стандартизации ввиду непостоянного и неидентифицированного ботанического и химического состава.

2. Местоположение, тип почвы, сезон выращивания растения, условия окружающей среды, время и технология сбора урожая могут влиять на химический состав наиболее важных компонентов растений.

3. Метод и продолжительность консервации и хранения, способ экстракции растений, а также возможные синергические или антагонистические эффекты действующих веществ, примеси антипитательных веществ или микробное загрязнение являются факторами, которые могут существенно повлиять на эффективность фитогенных кормовых добавок.

Препятствия при оценке опубликованных результатов. Информация об эфирных маслах и ароматических травах в качестве кормовых добавок часто в основном ориентирована на коммерческий продукт, а не на научный подход, поэтому данные об исходном материале часто отсутствуют. Очень часто коммерческие продукты тестируются в «псевдонаучных статьях», где в лучшем случае упоминаются только основные ингредиенты, но точный состав остается нераскрытым [6].

К примеру, указываются такие положительные эффекты коммерческих фитобиотиков, без критического их анализа и осмысления, как повышение продуктивности до 47-60 % [22]. Однако суперэффекты коммерческих препаратов на прирост массы считаются псевдонаучными и недостоверными, поскольку не подтверждаются авторитетными публикациями (например, коллективная монография по фитобиотикам) [10].

Одна из основных проблем при работе с литературными данными – это правильное определение источника (вида растения) и химического состава действующих веществ. Указывается, что довольно часто можно найти путаницу в определениях используемого материала, и многие авторы не могут провести различие между травами, экстрактами, дистиллированными эфирными маслами, изолированными соединениями от эфирных масел, синтетическими веществами и ароматическими растительными соединениями и продуктами. Аналогичная ситуация наблюдается с коммерческими эфирными маслами – источник неизвестен или, по крайней мере, не заявлен, химический тип и/или состав не упомянут в документе. Не рассматриваются возможные отрицательные эффекты – токсичность и снижение продуктивности при стрессе [30].

Рекомендуется в целом в публикациях обращать внимание на [10]:

- конкретный вид растения (а не на коммерческое название фитобиотика, которое может быть, но не должно выступать как главное лицо);
- дозировки (конкретного вещества или субстанции);
- безопасность и механизм действия;
- возможность применения без ветеринарного врача (т.е. технология и методика применения на практике);
- воздерживаться от восхваления коммерческих продуктов (без анализа и указания недостатков);
- добавки, в которых не могут быть идентифицированы все компоненты, особенно экстракты, должны характеризоваться описанием вторичных растительных метаболитов, способствующих их активности.

Безопасность. Все кормовые добавки, включая растительные субстанции и их дей-

ствующие вещества, должны соответствовать правилам безопасности. Помимо эффективности, применение фитогенных кормовых добавок должно быть безопасным для животного, пользователя, потребителя продукта животного происхождения и окружающей среды⁴. Нельзя исключить также неблагоприятное воздействие на здоровье животных при случайной передозировке.

Для доступных на рынке фитодобавок часто отсутствуют подробные данные о химическом составе главных действующих веществ. Эта недостающая информация затрудняет токсикологические прогнозы, поскольку некоторые компоненты эфирных масел могут быть токсичными, даже в относительно небольших количествах, побочные действия их могут проявляться в виде расстройства дыхания, раздражения слизистых оболочек, острой токсичности, репродуктивной токсичности и токсичности отдельных органов, вследствие биоаккумуляции в тканях животных определенных веществ.

Дозировки ароматических видов растений, необходимые для стимуляции положительного эффекта на продуктивность кур-несушек при окислительном стрессе, очень высоки и достигают критических значений безопасности: орегано (сухая трава) – 1 %; эфирное масло орегано – 100 мг/кг; розмарин (сухая трава) – 1 %; порошок розмарина – 0,9 %; тимьян (сухая трава) – 1 %; порошок тимьяна – 0,9 %; куркума (сухая трава) – 1 %; фенхель (семена) – 20 г/кг, шалфей (листья сухие) – 2,5 % [27]. Такие высокие концентрации представляют опасность из-за токсичности основных компонентов действующих веществ эфирных масел, которая проявляется в виде раздражения слизистой оболочки кишечника и снижения репродуктивной функции [31].

В 2021 году опубликованы результаты детального исследования воздействия широко используемых в производстве фитобиотиков эфирных масел розмарина, цитрусовых и эвкалипта на острую токсичность, влияние на репродуктивную функцию, развитие, а также на раздражение слизистой оболочки. Работа проведена Австрийским центром по качеству и безопасности кормов и пищевых продуктов *in vitro* (клеточные культуры) и *in vivo* (тесты на модельных организмах – нематоде *Caenorhabditis elegans*, курином яйце) [31].

⁴Там же.

В целом, все исследуемые объекты по результатам культивирования в условиях *in vitro* показали зависимое от концентрации снижение жизнеспособности клеток – со средними значениями полуметальной дозы ЛД₅₀ в диапазоне от 0,08 до 0,17 %. Значения ЛД₅₀ находились в десятикратном диапазоне от 0,03 % (клетки, обработанные розмариновым маслом) до 0,17 % (эвкалиптовое масло) и до 0,29 % (цитрусовое масло). Аналогичные результаты были получены для модели на нематоде *C. Elegans* со средним значением ЛД₅₀ 0,42 %. У нематод дикого типа чувствительность по ЛД₅₀ оказалась при концентрациях в десять раз ниже. Анализ экспрессии генов выявил значительную активацию генов ксенобиотического и окислительного стресса – CYP-14A3, GST-4, GPX-6, SOD-3. Кроме того, все три исследуемых эфирных масла показали повышенный кратковременный потенциал раздражения слизистой оболочки при концентрации уже 0,5 %.

Таким образом, эфирные масла некоторых растений могут проявлять серьезные токсические свойства даже при низких концентрациях. Поэтому для каждого вещества отдельно и предполагаемого применения в смеси рекомендуется провести подробную токсикологическую оценку.

IV. Перспективные виды растений и их биологически активные вещества. В последнее время, из-за слабой эффективности фитобиотиков в условиях стрессовых ситуаций, в исследования начали привлекать растения, содержащие сильнодействующие вещества. Среди них маклея сердцевидная, содержащая изохинолиновые алкалоиды 2-го класса опасности. Такого рода исследования были проведены на свиноматках (стресс опороса) и поросятах (стресс отъема), результаты показали, что в низких дозах они могут регулировать стрессовую реакцию [21]. Действительно, изохинолиновые алкалоиды обладают седативными, психотропными, обезболивающими свойствами и проявляют противомикробное и противовоспалительное действие. Это самая большая группа среди алкалоидов, в настоящее время известно около 2500 таких соединений, которые в основном синтезируются растениями семейств маковые (*Papaveraceae*), барбарисовые (*Berberidaceae*), лютиковые (*Ranunculaceae*), луносемянниковые из подрода лютиковых (*Menispermaceae*), дымянковые (*Fumariaceae*).

Алкалоиды изохинолинового ряда и растения их содержащие (любые части) отнесены к токсичным веществам естественного происхождения Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов, так как могут представлять серьезную опасность для здоровья человека и животных [32].

Растения с сапонинами и алкалоидами стали использоваться для модуляции иммунных реакций животных, но при их передозировке также могут быть проблемы со здоровьем – это люцерна посевная (*Medicago sativa*), эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea*), юкка (*Yucca spp.*), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), гинкго двулопастное (*Ginkgo biloba*), маклея сердцевидная (*Macleya cordata*) [8].

Сапонины – вещества гликозидной природы, хорошо растворяются в воде и при попадании в кровь вызывают гемолитическое отравление. В 5-томном обзоре по токсичным растениям, изданном в США, указывается, что эхинацея и люцерна могут привести к почечной недостаточности и почечному ацидозу. Эхинацея может также вызывать аллергические реакции, сыпь или усугублять астму [33, 34]. Солодка содержит глицирризиновую кислоту, тритерпеновые сапонины, гидроксикумарины и может вызывать опасные для жизни сердечные аритмии из-за возникновения гипокалиемии (подобно алоэ и ягодам крушины), а также цирроз печени, отек легких, электролитные и почечные аномалии [35]. Гинкго двулопастное (*G. biloba*) имеет канцерогенную активность, экстракт листьев может вызвать рак печени, аденому щитовидной железы и лейкемию [36].

В России как фитогеники используются специфические виды растений: мука из пихты, ели, сосны, топинамбур, свекла, морковь, тыква, люцерна, облепиха [22]. Следует заметить, что большинство видов из списка применялось в качестве кормовых добавок еще во времена СССР – витаминно-травяная мука из люцерны, хвойная мука, топинамбур, свекла и морковь, различные жомы и жмыхи из фруктово-ягодных, пряно-ароматических и эфиромасличных растений [4, 5].

Незначительные масштабы использования фитобиотиков в российском животноводстве обусловлены недостаточностью рынка отечественных фитобиотиков, дороговизной импортных и отсутствием запрета на кормовые антибиотики в России [22], а также неразви-

тостью передовых научных исследований по привлечению новых и нетрадиционных видов из флоры России в качестве анаболических и антистрессовых компонентов.

Между тем, в России имеются свои уникальные нетрадиционные растительные источники, отсутствующие за рубежом и содержащиеся в качестве биологически активных компонентов экидистероиды. Именно недостатки в теории и практике использования существующих фитобиотиков позволяют обратить наше внимание на экидистероид-содержащие кормовые добавки, обосновать их применение в сельскохозяйственной практике.

Отличительные положительные свойства фитозкидистероидов (ФЭС) и основного их биологически активного представителя экидистерона (20-гидроксиэкидизона), недоступного в массово применяющихся в настоящее время фитобиотиках [37, 38, 39]:

- ✓ ФЭС-субстанции и добавки с ними снимают сильный стресс – чего не могут делать обычные фитобиотики;

- ✓ ФЭС имеют прямой анаболический эффект влияния за счет взаимодействия с рецепторами эстрогенов;

- ✓ ФЭС оказывают плейотропный эффект действия за счет влияния на важные гены;

- ✓ Их применение в животноводстве не вызывает опасений, так как они относятся к безопасным веществам.

Среди ФЭС-синтезирующих растений промышленный интерес представляют виды, характеризующиеся повышенным содержанием целевых веществ, высокой продуктивностью, отсутствием токсичных примесей, устойчивостью и способностью к интродукции, а также к долголетнему произрастанию в условиях агроценоза [40]. Растения, которые в настоящее время (на 2021 год) рассматриваются в странах Европы и Азии как хорошие источники ФЭС и заслуживают внимания для масштабного производства субстанций с экидистероном в достаточных количествах и по разумной цене: 1) виды из родов *Achyranthes* (соломоцвет из сем. амарантовые); 2) *Cyanotis* (цианотис из сем. коммелиновые); 3) *Pfaffia* (сума из сем. амарантовые); 4) *Leuzea/Stemmacantha / Rhaponticum* (рапонтикум или левзея из сем. сложноцветные); 5) *Serratula* (серпуха из сем. сложноцветные) [39].

В России в ходе 60-летнего фундаментального изучения коллекции из более чем трех тысяч видов новых и нетрадиционных

растений учеными из Коми НЦ УрО РАН предложены к интродукции и промышленному размножению два крупнотравных экидистероидсинтезирующих вида, имеющих практическую значимость – левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*) и серпуха венценосная (*Serratula coronata*) [41]. Первичные эксперименты, проведенные ранее с комплексными экстрактами из надземных частей этих растений, показали, что они обладают анаболическим и иммунно-адаптогенным действием на животных, на фоне отсутствия каких-либо противопоказаний [42, 43].

В частности, при сравнительных испытаниях в условиях промышленного содержания (Кировская область) у поросят различного возраста анаболический эффект фитоконцентра из двух ФЭС-растений (*R. carthamoides* и *S. coronata*) по валовому и среднесуточному приросту был равен 24,0-32,8 %, что на порядок превысило эффект классических фитобиотиков (на основе экстракта из солодки голой *G. glabra* и бурых морских водорослей *Laminaria saccharina*) – 2,1-3,7 % [44].

Эти два крупнотравных многолетних вида (в период 1950-2000 гг.) прошли длительный этап интродукции [41, 45, 46], одновременно фундаментально изучены биохимический их состав [47] и кормовые достоинства на животных [48], реализована оптимизация длительного культивирования в условиях агроценоза (до 16-30 лет) [49, 50], и сегодня, на 2021 год, признаны международным сообществом ученых важнейшими источниками анаболических и антистрессовых средств [39].

Возможно сочетание различных водорастворимых источников ФЭС-субстанций с другими фитогенными субстанциями – носителями повышенных количеств эфирных масел, флавоноидов и танинов, ранее уже доказавших свои свойства в качестве противомикробных агентов, с целью улучшения биодоступности и пролонгации действия активного вещества экидистерона, исключив их разрушение бактериальной флорой желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных.

Заключение. В обзоре дано обобщение результатов опубликованных исследований, касающихся практики применения и перспектив использования фитобиотиков в рационе сельскохозяйственных животных, исходя из набора критериев по влиянию на оздоровление, стимулирование роста, продуктивность

и качество получаемой продукции. Рассмотрен ассортимент растений и их действующие вещества, применяемые прежде всего для моногастричных животных, так как присутствие в их рационе биологически активных веществ, в отличие от жвачных, целиком и полностью зависит от зоотехнических добавок. Основное внимание уделялось способности фитогенных кормовых добавок заменять в качестве альтернативных источников запрещенные или признанные нежелательными антибиотики, синтетические антиоксиданты, гормональные анаболические средства и антистрессовые транквилизаторы.

Изучение литературы, систематизация и сравнение информации выявило следующие тенденции:

1. Фитобиотики заняли достойное место в составе кормовых добавок, прежде всего в свиноводстве и птицеводстве. Они используются в рационе здоровых животных не столько для целей питания, а с дополнительными функциями и на постоянной основе (на протяжении всего периода производства), что является отличием от ветеринарных препаратов, используемых только для лечения заболеваний, под контролем ветеринарного врача и только в течение ограниченного периода времени.

2. Массовый переход на использование фитобиотиков в значительной степени был обусловлен запретительными мерами на большинство антибиотиков в кормах: частичный запрет был введен в Европейском Союзе с 1999 года и полный запрет с 2006 года, в США и ряде других стран с 2017 года, продолжающиеся ныне обсуждения по ограничению их применения в России и странах Таможенного Союза.

3. Применение фитобиотиков полезно для стимуляции потребления корма животными, стабилизации микрофлоры желудочно-кишечного тракта. Возможные механизмы действия, способствующие росту, включают изменения в кишечной микробиоте, повышенную перевариваемость и всасывание питательных веществ, улучшенный иммунный ответ, антиоксидантную активность, индукцию или ингибирование метаболических ферментов. Кроме того, отмечается увеличение срока хранения и качества продуктов животного происхождения за счет снижения липидного окисления. В условиях интенсивных технологий животноводства (при благополучии санитарно-гиги-

нического содержания) фитогенные средства обеспечивают повышение продуктивности различных видов животных на 2-4 %.

4. Для производства фитобиотиков в странах Европы используются ресурсы местной средиземноморской флоры, обычно это происходит с привлечением эфиромасличных и пряно-ароматических (содержащих флавоноиды и терпеноиды в качестве действующих веществ), а также лекарственных растений (прежде всего, синтезирующих сапонины и изохинолиновые алкалоиды). Это виды, уже прошедшие длительный этап разработки технологии культивирования и переработки фитомассы с учетом химического состава.

5. Из недостатков существующих фитобиотиков – они не имеют прямого анаболического эффекта и не работают в условиях сильного стресса, а при сочетании негативных факторов получается отрицательный эффект прироста живой массы. Кроме того, возникают проблемы по их безопасности, а также сложности, связанные со стандартизацией фитобиотиков по действующим веществам, а при попытках ее проведения выявляется цитотоксичность этих веществ в очень малых дозировках.

Таким образом, проведенное в статье исследование показывает пример массового успешного внедрения в странах Европы и Азии новых и нетрадиционных растений из местной флоры, большая потребность в которых была обусловлена широким спектром биологической активности данных видов, улучшающих вкусовые и органолептические свойства рациона питания, стимулирующих пищеварение и оказывающих многогранный лечебно-профилактический и оздоровительный эффект. К сожалению, в России набор культур, используемых в качестве фитобиотиков крайне ограничен, хотя имеется богатейший генофонд дикорастущей флоры, в том числе субальпийского происхождения.

Поэтому актуальной остается задача, поставленная академиком-секретарем Всесоюзной (Российской) академии сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ-РАСХН) В. С. Шевелухой еще 30 лет назад [51, С. 189]: «... Новые вызовы, которые нужно решать сегодня в нетрадиционном растениеводстве, это задачи поиска новых видов растений с уникальными свойствами; найти источники новых высокоэффективных природных соединений профилактической, терапевтической, анаболической,

антистрессовой и адаптогенной направленности – являющихся одновременно экономически более выгодными в сравнении с традиционными культурами».

Иными словами, кормопроизводство РФ, с точки зрения зоотехнии и ветеринарной медицины, нуждается в существенном расширении ассортимента видов. Необходима мобилизация в краткие сроки в практическое животноводство видов, ранее уже привлеченных в ботанические сады из дикой природы. Обновлять состав фитогенных растений в первую очередь нужно видами, которые изучались с точки зрения их способности к накоплению хозяйственно ценных биологически активных веществ, к интенсификации роста и развития, оценки безопасности, поедаемости, белковости, энергонасыщенности, семенной продуктивности и т.д. Одновременно привлекаемые виды должны сочетаться с давно возделываемыми.

Одним из перспективных направлений совершенствования системы российского кормопроизводства является включение в него эдистероидсинтезирующих растений, отвечающих потребностям практического животноводства. В качестве примера в статье рассмотрены возможности внедрения двух таких растений, происходящих из сибирского ареала – *Rhaponticum carthamoides* (рапонтикума или левзеи сафлоровидной) и *Serratula coronata* (серпухи венценосной). Эти два вида прошли длительный этап интродукции в различных природно-климатических регионах, фундаментально изучены их биохимический состав и кормовые достоинства; оптимизирована технология культивирования в условиях агроценоза и на 2021 год они признаны на международном уровне важнейшими источниками фитогенно происходящих анаболических, антистрессовых и адаптогенных субстанций.

Список литературы

1. Некрасов Р. В., Головин А. В., Махаев Е. А., Аникин А. С., Первов Н. Г., Стрекозов Н. И., Мысик А. Т., Дуборезов В. М., Чабаев М. Г., Фомичев Ю. П., Гусев И. В. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография. Под ред. Р. В. Некрасова, А. В. Головина, Е. А. Махаева. М., 2018. 290 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35382979>
2. Рой Дж. Х. Б. Выращивание телят. Пер. с англ. М.: Колос, 1982. 470 с.
3. Соляник В. В. Мониторинг статистической отчётности работы свиного комплекса и методика расчёта уровня падежа животных на предприятии. Зоотехническая наука Беларуси. 2017;52(2):184-198. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29924614>
4. Кормовые добавки. Под ред. А. М. Венедиктова и др. М.: Агропромиздат, 1992. 192 с.
5. Ивашов В. И., Сницарь А. И., Чернуха И. М. Биотехнология и оценка качества животных кормов. М.: Агропромиздат, 1991. 192 с.
6. Franz C., Baser K. H. C., Windisch W. Essential oils and aromatic plants in animal feeding – a European perspective. A review. Flavour and Fragrance Journal. 2010;25(5):327-340. DOI: <https://doi.org/10.1002/ffj.1967>
7. Борьба с устойчивостью к антибиотикам с позиций безопасности пищевых продуктов в Европе. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2011. 106 с. Режим доступа: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/144695/e94889R.pdf
8. Samanidou V. F., Evaggelopoulou E. N. Chromatographic analysis of banned antibacterial growth promoters in animal feed. Journal of Separation Science. 2008;31(11):2091-112. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.200800075>
9. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. Feed Additives. Academic Press. 2020. pp. 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
10. Feed Additives. Editors: P. Florou-Paneri, E. Christaki, I. Giannenas London: Academic Press, 2020. 368 p.
11. 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. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>
12. Kumar M., Kumar K., Roy D., Kushwaha R., Vaiswani S. Application of Herbal Feed Additives in Animal Nutrition – A Review. International Journal of Livestock Research. 2014;4(9):1-8. DOI: <https://doi.org/10.5455/ijlr.20141205105218>
13. Максимов Г. В., Ленкова Н. В. Система антиоксидантной защиты организма в зависимости от реакции, возраста и породы свиней. Ветеринарная патология. 2010;(4):59-61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16752101>
14. Галочкин В. А., Остренко К. С., Галочкина В. П., Федорова Л. М. Взаимосвязь нервной, иммунной, эндокринной систем и факторов питания в регуляции резистентности и продуктивности животных (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(4):673-686. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.673rus>

15. Tsiplakou E., Pitino R, Manuelian C. L., Simoni M., Mitsiopolou C., De Marchi M., Righi F. Plant Feed Additives as Natural Alternatives to the Use of Synthetic Antioxidant Vitamins in Livestock Animal Products Yield, Quality, and Oxidative Status: A Review. *Antioxidants* (Basel). 2021;10(5):780. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10050780>
16. Остапчук П. С., Зубоченко Д. В., Куевда Т. А. Роль антиоксидантов и использование их в животноводстве и птицеводстве (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(2):103-117. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>
17. Westendarp H. [Essential oils for the nutrition of poultry, swine and ruminants]. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*. 2005;112(10):375-380. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16320571/>
18. Hashemi S. R., Davoodi H. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*. 2011;35:169-180. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>
19. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 89-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
20. Yasmin A. R., Chia S. L., Looi Q. H., Omar A. R., Noordin M. M., Ideris A. Chapter 7 – Herbal extracts as antiviral agents. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 115-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00007-8>
21. Artuso-Ponte V., Pastor A., Andratsch M. Chapter 17 – The effects of plant extracts on the immune system of livestock: The isoquinoline alkaloids model. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00017-0>
22. Багно О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. Н., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(4):687-697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.4.687rus>
23. Windisch W., Schedle K., Plitzner C., Kroismayr A. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*. 2008;86(14):E140-E148. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>
24. Bravo L. Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance. *Nutrition Reviews*. 1998;56(11):317-333. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x>
25. Skiba G., Raj S., Sobol M., Kowalczyk P., Grela E.R. Role of polyphenols in the metabolism of the skeletal system in humans and animals – a review. *Annals of Animal Science*. 2021;21(4):1275-1300. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0040>
26. Яшин Я. И., Рыжнев В. Ю., Яшин А. Я., Черноусова Н. И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека. М.: ТрансЛит, 2009. 212 с.
27. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Chapter 11 – Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 187-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
28. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Chapter 5 – Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro/in vivo mechanisms of action. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
29. Jin L-Z., Dersjant-Li Y., Giannenas I. Chapter 10 – Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 159-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8>
30. Franz Ch. M., Baser K. H. C., Hahn-Ramss I. Chapter 3 – Herbs and aromatic plants as feed additives: Aspects of composition, safety, and registration rules. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 35-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00003-0>
31. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;95:673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
32. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>
33. Brown A. C. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety, and government regulation in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107(A):449-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.001>
34. Brown A. C. Kidney toxicity related to herb and dietary supplements: online table of medical case reports. Part 3 of 5 series. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107(A):502-519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.07.024>
35. Brown A. C. Heart toxicity related to herb and dietary supplements: Online Table of Case Reports. Part 4 of 5. *Journal of Dietary Supplements*. 2018;15(4):516-555. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1356418>

36. Brown A. C. Cancer Related to Herbs and Dietary Supplements: Online Table of Case Reports. Part 5 of 5. *Journal of Dietary Supplements*. 2018;15(4):556-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1355865>
37. Тимофеев Н. П. Достижения и проблемы в области изучения, использования и прогнозирования биологической активности экидистероидов (обзор). *Бутлеровские сообщения*. 2006;8(2):6-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12965453>
38. Ивановский А.А., Латушкина Н.А., Тимофеев Н.П. Влияние добавки растительного происхождения на поросят. *Эффективное животноводство*. 2020;(9):25-27. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2020-9-25-27>
39. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
40. Тимофеев Н. П. Достижения и проблемы в изучении биологии лекарственных растений *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin и *Serratula coronata* L. (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2007;42(3):3-17. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2007.3.3rus>
41. Рубан Г. А., Зайнуллина К. С. Особенности семенной репродукции левзеи сафлоровидной и серпухи венценосной при выращивании в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2013;(4):22-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19415085>
42. Тимофеев Н. П. Новая технология и производственная эффективность высококачественного растительного сырья рапонтника сафлоровидного. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их практического использования: мат-лы III Междунар. симпозиума. М. – Пущино: РАСХН, 1999. Т. 3. С. 465-467. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32412631>
43. Ивановский А. А., Латушкина Н. А., Тимкина Е. Ю. Влияние экстракта из комплекса трав на клинико-гематологический статус белых мышей. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;(2):81-84. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.81-84>
44. Ивановский А. А., Тимофеев Н. П., Ермолина С. А. Влияние адаптогенов растительного происхождения на поросят и свиноматок. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(4):387-397. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.387-397>
45. Мишуров В. П., Зайнуллин В. Г., Рубан Г. А., Савиновская Н. С., Пунегов В. В., Башлыкова Л. А. Интродукция *Serratula coronata* L. на Европейском Северо-Востоке: монография. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2008. 192 с.
46. Сапрыкин В. С., Постников Б. А. Маралий корень – перспективное лекарственное растение для использования в кормопроизводстве. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2010;(6):104-107. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15100894>
47. Алексеева Л. И., Володин В. В., Володина С. О., Дайнан Л., Ковлер Л. А., Колегова Н. А., Лукша В. Г., Лафон Р., Носов А. М., Орлова И. В., Политова Н. К., Пчеленко Л. Д., Пшунетлева Е. А., Смоленская И. Н., Уфимцев К. Г., Филиппова В. Н., Чадин И. Ф., Ширшова Т. И. Фитоэкидистероиды. Санкт-Петербург: Наука, 2003. 293 с.
48. Зайнуллин В. Г., Мишуров В. П., Пунегов В. В., Старобор Н. А., Башлыкова Л. А., Бабкина Н. Ю. Биологическая эффективность двух кормовых добавок, содержащих экидистероиды *Serratula coronata* L. *Растительные ресурсы*. 2003;39(2):95-103.
49. Тимофеев Н. П. Продуктивность и динамика содержания фитоэкидистероидов в агропопуляциях *Rhaponticum carthamoides* и *Serratula coronata* (Asteraceae) на Европейском Севере. *Растительные ресурсы*. 2006;42(2):17-36. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9186864>
50. Тимофеев Н. П. Итоги 30 лет культивирования левзеи сафлоровидной *Rhaponticum carthamoides* в агроценозе Европейского Севера. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VI Междунар. научн.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 2020. С. 210-215. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44125143>
51. Шевелуха В. С. Новые проблемы нетрадиционного растениеводства. Мат-лы VIII Всероссийского симпозиума по новым кормовым растениям. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. С. 188-190.

References

1. Nekrasov R. V., Golovin A. V., Makhaev E. A., Anikin A. S., Pervov N. G., Strekozov N. I., Mysik A. T., Duborezov V. M., Chabaev M. G., Fomichev Yu. P., Gusev I. V. *Normy potrebnostey molochnogo skota i sviney v pitatel'nykh veshchestvakh: monografiya*. [Standards requirements of dairy cattle and pigs in nutrients]. Editors: R. V. Nekrasova, A. V. Golovina, E. A. Makhaeva. Moscow, 2018. 290 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35382979>
2. Roy Dzh. Kh. B. *Vyrashchivanie telyat*. [Calf management]. *Per. s angl.* Moscow: Kolos, 1982. 470 p.
3. Solyanik V. V. *Monitoring statisticheskoy otchetnosti raboty svinokompleksa i metodika rascheta urovnya padezha zhivotnykh na pred-priyatii*. [Monitoring of statistical report of pig complex operation and method of calculation of the animals' mortality level at enterprise]. *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi*. 2017;52(2):184-198. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29924614>

4. *Kormovye dobavki*. [Feed additives]. Editors: A. M. Venediktova et al. Moscow: *Agropromizdat*, 1992. 192 p.
5. Ivashov V. I., Snitsar A. I., Chernukha I. M. *Biotehnologiya i otsenka kachestva zhivotnykh kormov*. [Biotechnology and evaluation of animal feed quality]. Moscow: *Agropromizdat*, 1991. 192 p.
6. Franz C., Baser K. H. C., Windisch W. Essential oils and aromatic plants in animal feeding – a European perspective. A review. *Flavour and Fragrance Journal*. 2010;25(5):327-340. DOI: <https://doi.org/10.1002/ffj.1967>
7. *Bor'ba s ustoychivost'yu k antibiotikam s pozitsiy bezopasnosti pishchevykh produktov v Evrope*. [Tackling antibiotic resistance from a food safety perspective in Europe]. Kopengagen: *Evropeyskoe regional'noe byuro VOZ*, 2011. 106 p. URL: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/144695/e94889R.pdf
8. Samanidou V. F., Evaggelopoulos E. N. Chromatographic analysis of banned antibacterial growth promoters in animal feed. *Journal of Separation Science*. 2008;31(11):2091-112. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.200800075>
9. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
10. *Feed Additives*. Editors: P. Florou-Paneri, E. Christaki, I. Giannenas London: Academic Press, 2020. 368 p.
11. 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. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>
12. Kumar M., Kumar K., Roy D., Kushwaha R., Vaiswani S. Application of Herbal Feed Additives in Animal Nutrition – A Review. *International Journal of Livestock Research*. 2014;4(9):1-8. DOI: <https://doi.org/10.5455/ijlr.20141205105218>
13. Maksimov G. V., Lenkova N. V. *Sistema antioksidantnoy zashchity organizma v zavisimosti ot reaktivnosti, vozrasta i porody sviney*. [System of antioxidant protection of the body depending on the reaction, age and breed of pigs]. *Veterinarnaya patologiya = Veterinary Pathology*. 2010;(4):59-61. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16752101>
14. Galochkin V. A., Ostrenko K. S., Galochkina V. P., Fedorova L. M. *Vzaimosvyaz' nervnoy, immunnoy, endokrinnoy sistem i faktorov pitaniya v regulyatsii rezistentnosti i produktivnosti zhivotnykh (obzor)*. [Interrelation of nervous, immune, endocrine systems and nutritional factors in the regulation of animal resistance and productivity]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(4):673-686. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.4.673rus>
15. Tsiplakou E., Pitino R., Manuelian C. L., Simoni M., Mitsiopolou C., De Marchi M., Righi F. Plant Feed Additives as Natural Alternatives to the Use of Synthetic Antioxidant Vitamins in Livestock Animal Products Yield, Quality, and Oxidative Status: A Review. *Antioxidants (Basel)*. 2021;10(5):780. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10050780>
16. Ostapchuk P. S., Zubochenko D. V., Kuevda T. A. *Rol' antioksidantov i ispol'zovanie ikh v zhivotnovodstve i ptitsevodstve (obzor)*. [The role of antioxidants and their use in animal breeding and poultry farming (review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):103-117. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.103-117>
17. Westendarp H. [Essential oils for the nutrition of poultry, swine and ruminants]. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*. 2005;112(10):375-380. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16320571/>
18. Hashemi S. R., Davoodi H. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*. 2011;35:169-180. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>
19. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 89-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
20. Yasmin A. R., Chia S. L., Looi Q. H., Omar A. R., Noordin M. M., Ideris A. Chapter 7 – Herbal extracts as antiviral agents. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 115-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00007-8>
21. Artuso-Ponte V., Pastor A., Andratsch M. Chapter 17 – The effects of plant extracts on the immune system of livestock: The isoquinoline alkaloids model. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00017-0>
22. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. N., Dyadichkina T. V. *Fitobiotiki v kormlenii sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh (obzor)*. [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/agrobiol.2018.4.687rus>
23. Windisch W., Schedle K., Plitzner C., Kroismayr A. Use of phyto-genic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*. 2008;86(14):E140-E148. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>
24. Bravo L. Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance. *Nutrition Reviews*. 1998;56(11):317-333. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x>

25. Skiba G., Raj S., Sobol M., Kowalczyk P., Grell E.R. Role of polyphenols in the metabolism of the skeletal system in humans and animals – a review. *Annals of Animal Science*. 2021;21(4):1275-1300. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0040>
26. Yashin Ya. I., Ryzhnev V. Yu., Yashin A. Ya., Chernousova N. I. Prirodnye antioksidanty. Soderzhanie v pishchevykh produktakh i ikh vliyaniye na zdorov'e i starenie cheloveka. [Natural antioxidants. Contents in food products and their effects on human health and aging]. Moscow: *TransLit*, 2009. 212 p.
27. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Chapter 11 – Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 187-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
28. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Chapter 5 – Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro/in vivo mechanisms of action. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
29. Jin L-Z., Dersjant-Li Y., Giannenas I. Chapter 10 – Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 159-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8>
30. Franz Ch. M., Baser K. H. C., Hahn-Ramss I. Chapter 3 – Herbs and aromatic plants as feed additives: Aspects of composition, safety, and registration rules. *Feed Additives*. Academic Press. 2020. pp. 35-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00003-0>
31. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;95:673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
32. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>
33. Brown A. C. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety, and government regulation in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107(A):449-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.001>
34. Brown A. C. Kidney toxicity related to herb and dietary supplements: online table of medical case reports. Part 3 of 5 series. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107(A):502-519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.07.024>
35. Brown A. C. Heart toxicity related to herb and dietary supplements: Online Table of Case Reports. Part 4 of 5. *Journal of Dietary Supplements*. 2018;15(4):516-555. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1356418>
36. Brown A. C. Cancer Related to Herbs and Dietary Supplements: Online Table of Case Reports. Part 5 of 5. *Journal of Dietary Supplements*. 2018;15(4):556-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1355865>
37. Timofeev N. P. *Dostizheniya i problemy v oblasti izucheniya, ispol'zovaniya i prognozirovaniya biologicheskoy aktivnosti ekdisteroidov (obzor)*. [Achievements and problems in the study, use and prediction biological activity of ecdysteroids (review)]. *Butlerovskie soobshcheniya = Butlerov Communications*. 2006;8(2):6-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12965453>
38. Ivanovskiy A. A., Latushkina N. A., Timofeev N. P. *Vliyaniye dobavki rastitel'nogo proiskhozhdeniya na porosyat*. [Effects of plant-based supplement on piglets]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020;(9):25-27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2020-9-25-27>
39. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
40. Timofeev N. P. *Dostizheniya i problemy v izuchenii biologii lekarstvennykh rasteniy Rhaponticum carthamoides (Willd.) Iljin i Serratula coronata L. (obzor)*. [Achievements and problems in investigation of biology in medicinal plants of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin and *Serratula coronata* L. (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2007;42(3):3-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2007.3.3rus>
41. Ruban G. A., Zaynullina K. S. *Osobennosti semennoy reproduksii levzei saflorovidnoy i serpukhi ventsenosnoy pri vyrashchivaniy v usloviyakh srednetaezhnoy podzony Respubliki Komi*. [Features of a seed reproduction of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin and *Serratula coronata* L. at cultivation under conditions of a middle-taiga subzone of the Komi Republic]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2013;(4):22-25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19415085>
42. Timofeev N. P. *Novaya tekhnologiya i proizvodstvennaya effektivnost' vysokokachestvennogo rastitel'nogo syr'ya rapontika saflorovidnogo*. [New technology and production efficiency of high-quality plant raw materials *Rhaponticum carthamoides*]. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh prakticheskogo ispol'zovaniya: mat-ly III Mezhdunar. simpoziuma*. [New and unconventional plants and prospects for their use]. Moscow – Pushchino: *RASKhN*, 1999. Vol. 3. pp. 465-467. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32412631>
43. Ivanovskiy A. A., Latushkina N. A., Timkina E. Yu. *Vliyaniye ekstrakta iz kompleksa trav na kliniko-gematologicheskiy status belykh myshey*. [Effect of extract from herbal complex on the clinical and hematological

status of white mice]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(2):81-84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.81-84>

44. Ivanovskiy A. A., Timofeev N. P., Ermolina S. A. *Vliyaniye adaptoginov rastitel'nogo proiskhozhdeniya na porosyat i svinomatok*. [Effect of plant adaptogens on piglets and sows]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4):387-397. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.387-397>

45. Mishurov V. P., Zaynullin V. G., Ruban G. A., Savinovskaya N. S., Punegov V. V., Bashlykova L. A. *Introduktsiya Serratula coronata L. na Evropeyskom Severo-Vostoke: monografiya*. [Introduction *Serratula coronata* L. in the European North-East]. Syktyvkar: *Komi nauchnyy tsentr UrO RAN*, 2008. 192 p.

46. Saprykin V. S., Postnikov B. A. *Maraliy koren' – perspektivnoye lekarstvennoye rasteniye dlya ispol'zovaniya v kormoproizvodstve*. [Rhaponticum carthamoides is a promising medicinal plant to be used in forage production of Siberia]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2010;(6):104-107. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15100894>

47. Alekseeva L. I., Volodin V. V., Volodina S. O., Daynan L., Kovler L. A., Kolegova N. A., Luksha V. G., Lafon R., Nosov A. M., Orlova I. V., Politova N. K., Pchelenko L. D., Pshunetleva E. A., Smolenskaya I. N., Ufimtsev K. G., Filippova V. N., Chadin I. F., Shirshova T. I. *Fitoekdisteroidy*. [Phytoecdysteroides]. Saint-Petersburg: Nauka, 2003. 293 p.

48. Zaynullin V. G., Mishurov V. P., Punegov V. V., Starobor N. A., Bashlykova L. A., Babkina N. Yu. *Biologicheskaya effektivnost' dvukh kormovykh dobavok, sodержashchikh ekdisteroidy Serratula coronata L.* [Biological efficiency of two fodder additives contained ecdysteroids of *Serratula coronata* L.]. *Rastitel'nye resursy*. 2003;39(2):95-103. (In Russ.).

49. Timofeev N. P. *Produktivnost' i dinamika sodержaniya fitoekdisteroidov v agropopulyatsiyakh Rhaponticum carthamoides i Serratula coronata (Asteraceae) na Evropeyskom Severe*. [Productivity and dynamics of the content of phytoecdysteroids in *Rhaponticum carthamoides* and *Serratula coronata* (Asteraceae) agropopulations in the European North]. *Rastitel'nye resursy*. 2006;42(2):17-36. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9186864>

50. Timofeev N. P. *Itogi 30 let kul'tivirovaniya levzei saflorovidnoy Rhaponticum carthamoides v agrotsenoze Evropeyskogo Severa*. [Results of 30 years cultivation of *Rhaponticum carthamoides* in the agrocenosis of the European North]. *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rastenievodstve: mat-ly VI Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Methods and technologies in plant breeding and crop production]. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka im. N. V. Rudnitskogo*, 2020. pp. 210-215. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44125143>

51. Shevelukha V. S. *Novye problemy netradsitsionnogo rastenievodstva*. [New problems of non-traditional crop production]. *Mat-ly VIII Vserossiyskogo simpoziuma po novym kormovym rasteniyam*. [Proceedings of VIII All-Russian Symposium on New Forage Plants]. Syktyvkar: *Komi NTs UrO RAN*, 1993. pp. 188-190.

Сведения об авторе

✉ Тимофеев Николай Петрович, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией интродукции и биосинтеза экдистероидов, Крестьянское хозяйство БИО (Научно-производственное предприятие), Ленина пр-т, д. 47а, г. Коряжма, Российская Федерация, 165650, e-mail: sciens@leuzea.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4565-7260>

Information about the author

✉ Nikolay P. Timofeev, PhD in Biology, Head of the Laboratory of Induction and Biosynthesis of Ecdysteroids, Scientific-Production Enterprise Farm "BIO", Lenin Avenue, 47a, Koryazhma, Russian Federation, 165650, e-mail: sciens@leuzea.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4565-7260>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>

УДК 551.524.3:633.1

Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье

© 2021. А. М. Ленточкин✉, Т. А. Бабайцева

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

Целью наших исследований являлось установление возможного изменения температурного режима в последние годы (2016-2020) в сравнении со среднемноголетними значениями по метеостанции Ижевск и оценка его влияния на особенности ведения растениеводства в Среднем Предуралье. При проведении исследования были использованы такие методы, как статистический, сравнение, анализ. Установлено, что в Среднем Предуралье в последние пять лет происходило потепление: сумма температур выше +10 °C в среднем увеличилась на 70 °C, составив 2138 °C, что позволяет уверенно выращивать сорта яровых зерновых культур раннеспелой и среднеспелой групп. Каждый вегетационный период характеризуется своей индивидуальностью, положительными и отрицательными отклонениями от среднемноголетних значений как в целом, так и отдельные его промежутки. Увеличение суммы температур привело к более раннему переходу средней суточной температуры весной через +5 °C на 4 сут, а осенью – к более позднему переходу на 2 сут, удлинив вегетационный период на 6 сут. Это обеспечивает более раннее возобновление вегетации весной и более позднее прекращение вегетации озимых культур, а также возможность раннего начала полевых работ с яровыми культурами весной. Проведённые расчёты показали, что между урожайностью зерна сортов яровой пшеницы и показателем гидротермического коэффициента (ГТК) имеются различные корреляционные связи – нейтральные, средние и сильные положительные. Однако между средней урожайностью зерна яровой пшеницы в хозяйствах всех категорий Удмуртской Республики и ГТК установлена сильная положительная корреляционная связь ($r = +0,73$).

Ключевые слова: сумма температур воздуха, гидротермический коэффициент, продолжительность вегетационного периода

Благодарности: работа выполнена в рамках плана научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» (тема АААА-А17-117122040015-0).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ленточкин А. М., Бабайцева Т. А. Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(6):826-834.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>

Поступила: 29.07.2021

Принята к публикации: 17.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals

© 2021. Alexander M. Lentochkin✉, Tanyana A. Babaytseva

Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russian Federation

The aim of the research is to establish a possible change in the temperature regime of recent years (2016-2020) as compared to the long-term average annual values of the Izhevsk weather station and the assessment of the effect of this change on the specific features of crop production practices in the Middle Cis-Urals. Statistical method, comparison and analysis were used during the research. It has been established, that in the Middle Cis-Urals for the recent five years the warming has been recorded: the sum of temperatures higher than +10 °C has increased by 70 °C on the average and reached 2138 °C that provides growing the varieties of early-ripening and mid-season spring cereals. Every vegetation period is characterized by its own specific features, positive and negative deviations from the long-term average annual values both over the whole period and during some of its intervals. The rise in the sum of temperatures resulted in the 4 days earlier transition of the average daily temperature in spring over +5 °C, in autumn it led to 2 days later transition, that made the vegetation period by 6 days longer. It provides an earlier vegetative renewal in spring and a later stop in vegetation of winter crops as well as the possibility of an earlier start of field work with spring crops in spring. The calculations have proved that between the grain yield of spring wheat varieties and the hydrothermal coefficient (HTC) indicator there are different kinds of correlative relationships – neutral, average and strong positive ones. However, between the average yield of spring wheat grain on the farms of all categories in the Udmurt Republic and HTC, a strong positive correlative relationship ($r = +0.73$) has been established.

Keywords: sum of air temperatures; hydrothermal coefficient; duration of vegetation period

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the research work of the Izhevsk State Agricultural Academy (theme No. AAAA-A17-117122040015-0).

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

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

For citations: Lentochkin A. M., Babaytseva T. A. Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):826-834. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>

Received: 29.07.2021

Accepted for publication: 17.11.2021

Published online: 15.12.2021

Наступление глобального потепления очевидно: за последнее столетие средняя температура поверхности земного шара увеличилась на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$)¹; на Урале с 1832 по 2006 год среднегодовая температура воздуха повысилась на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. По данным отечественных метеорологов, средняя скорость потепления для суши Северного полушария за 1901-2012 гг. составила $+0,105\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, а за 1976-2012 гг. – ещё выше, достигнув значения $+0,328\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет [2].

В качестве начала современного активного потепления метеорологами условно выбран 1976 год. По оценке Росгидромета, скорость потепления для периода 1976-2020 гг. в среднем по России значительно превосходит среднюю по земному шару и составляет $+0,51\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, в том числе по временам года это выглядело следующим образом: зима $+0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, весна $+0,66\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, лето $+0,39\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, осень $+0,50\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет; по территории Европейской части России соответственно $+0,55$; $+0,72$; $+0,44$; $+0,46$ и $+0,55\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Очевидно, что наиболее быстрый рост температур для территории Российской Федерации наблюдается весной, а для её Европейской части – зимой [3].

На территории земледельческой зоны Российской Федерации в 2020 г. по сравнению с более ранним периодом 2000-2019 гг. температура воздуха, как правило, зимой повысилась на $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, весной – на $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, летом – на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, осенью – на $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; в Приволжском федеральном округе зимой – на $5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, весной – на $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, осенью – на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а летом понизилась на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Закономерности отклонений периода 2000-2019 гг. отличаются по временам года от периода за 1976-2020 гг.: наибольшее потепление по территории России наблюдалось в зимний период, в Приволжском федеральном округе летом проявился отрицательный тренд [3].

Глобальное потепление привело в России к уменьшению степени континентальности климата [2], повышению летней температуры воздуха в Приволжском федеральном округе с 1970 по 2012 год примерно на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что улучшило теплообеспеченность вегетационного периода [4].

Анализ расчётных средних месячных температур воздуха в центральной части территории Удмуртской Республики с 1900 по 2014 год позволил выявить, что среднегодовая температура воздуха имела волнообразные изменения: в течение периода 1900-1909 гг. снизилась на $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1909-1929 гг. – повысилась на $0,63\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1929-1944 гг. – понизилась на $0,38\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1944-1957 гг. – повысилась на $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1957-1968 гг. – понизилась на $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1968-2011 гг. – повысилась на $1,65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Подобная закономерность прослеживается и по средней летней температуре воздуха: в течение периода 1900-1913 гг. – понизилась на $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1913-1933 гг. – повысилась на $0,98\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1933-1946 гг. – понизилась на $0,52\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1946-1955 гг. – повысилась на $0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1955-1973 гг. – понизилась на $0,94\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1973-2014 гг. – повысилась на $2,04\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обращает на себя внимание значительное повышение в последние десятилетия как средней годовой, так и средней летней температуры воздуха [5].

Наибольший вклад в годовое повышение эквивалентно-эффективной температуры (рассчитывается на основании значений температуры воздуха, скорости ветра и влажности воздуха) на территории Удмуртской Республики вносит холодный период (с октября по март), средняя скорость эквивалентно-эффективной температуры в этот период равна $0,98\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет; особенно быстро увеличение происходит в январе – на $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. В летний период эквивалентно-эффективная температура растёт почти в два раза медленнее, чем в зимний – на $0,56\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет; наименьшая скорость наблюдается в июле – на $0,43\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет [6].

¹Climate scenarios for agriculture. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agr.gc.ca/eng/agriculture-and-the-environment/climate-change-and-agriculture/climate-scenarios-for-agriculture/?id=1329321981630> (дата обращения: 26.04.2021).

Реакция растений на каждый тип изменения температуры опосредуется фотосинтетической активностью в накоплении биомассы, которая обеспечивает как рост растений, так и фенологические, и морфологические изменения, происходящие в процессе развития растений. Так, при повышении средней температуры на 1 °С урожайность основных видов культур может снизиться на 5-10 %, так как растения при повышенных температурах быстрее завершают цикл роста. Выявлено, что фотосинтез С3-растений (к ним относятся основные зерновые культуры, выращиваемые в России – пшеница, ячмень, овёс и др.), более чувствительны к повышенным температурам, чем сельскохозяйственные культуры С4-типа (такие как кукуруза, просо)².

Изменения климата, происходящие на фоне роста численности населения, увеличения спроса на продукты питания и корма, изменения рациона и модели питания, производства биотоплива – всё это приведёт в ближайшие десятилетия к изменению аграрного сектора в мире и Европе [7]. В настоящее время для европейских стран коэффициент использования имеющихся климатических ресурсов изменяется от 33 % для Франции до 45 % для Англии. Для России этот коэффициент составляет в среднем всего 15 %, изменяясь от 26 % для территории Северного Кавказа до 10-15 % для Северо-Западного региона. Очевиден большой нереализованный адаптивный потенциал сельского хозяйства России, значительный резерв адаптивного потенциала выращиваемых сельскохозяйственных культур, для повышения которого необходимо использование современных сортов, конструирование высокопродуктивных и экологически устойчивых агрофитоценозов, оптимизация соотношения посевов озимых и яровых культур [2]. Для обеспечения большей устойчивости сельскохозяйственных культур в экстремальных условиях следует также корректировать территориальное размещение культур, сроки посева [7, 8]. Изменением срока посева выращиваемых культур можно достичь лучшей влажности почвы, более благоприятных условий течения метаболических процессов, что способствует в конечном итоге повышению урожайности и качества продукции [9].

Основой стратегии адаптивной интенсификации сельского хозяйства России должно

стать ускоренное развитие аграрного сектора экономики Нечернозёмной зоны, где достаточная влагообеспеченность посевов гарантирует более стабильную продуктивность растениеводства [2].

Цель исследований – провести анализ изменения температурного режима в Среднем Предуралье за 2016-2020 годы в сравнении со среднемноголетними значениями и оценить его влияние на сроки посева и приёмы ухода за посевами основных зерновых культур.

Новизна исследований. На основании ежесуточных значений температуры приземного слоя воздуха рассчитаны за вегетационные периоды 2016-2020 гг. суммы положительных температур, суммы температур выше +5 °С и выше +10 °С, определено изменение дат возобновления и прекращения вегетации, рассчитаны значения гидротермического коэффициента по обновлённым данным и коэффициентов корреляции урожайности сортов яровой пшеницы со значением ГТК.

Материал и методы. Объектом исследования были открытые для доступа данные среднесуточной температуры воздуха с апреля по октябрь за 2016-2021 гг., размещённые на сайте справочно-информационного портала «Погода и климат»³ по метеостанции «Ижевск», расположенной на широте 56.83, долготе 53.45, высоте над уровнем моря 159 м. Применяемые методы исследования – статистический, сравнение, анализ.

Результаты и их обсуждение. На основании среднесуточных значений температуры воздуха тёплого периода года последних пяти лет (2016-2020 гг.) были построены полиномиальные линии тренда шестой степени, которые сглаживают ежесуточные колебания показателя и позволяют выявить общую закономерность динамики температуры за рассматриваемые годы. Полученные тренды сравнивались с нормой (среднемноголетними значениями) (рис.).

С установлением средней суточной температуры воздуха выше +5 °С полностью оттаивают почвы лёгкого и среднего гранулометрического состава и начинается вегетация озимых культур. По многолетним данным это происходит 20 апреля⁴. Однако по годам в последние пять лет наблюдаются значительные отклонения от указанной даты (табл. 1).

²Climate-smart crop production. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b1-crops/b1-overview/en/?type=111> (дата обращения: 26.04.2021).

³Погода и климат. Климатический монитор. Погода в Ижевске. Температура воздуха и осадки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28411&month=4-10&year=2016-2021> (дата обращения: 10.07.2021).

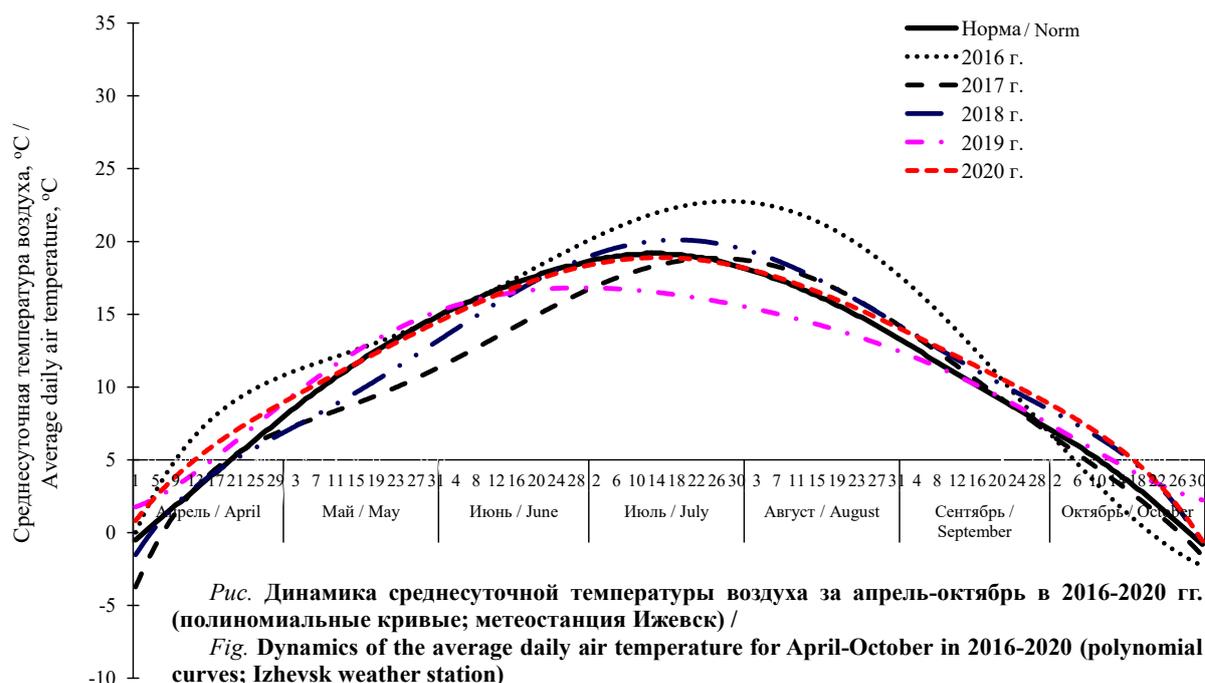


Таблица 1 – Сроки возобновления весенней и прекращения осенней вегетации основных сельскохозяйственных культур в 2016-2020 гг. (по данным метеостанции Ижевск) /
Table 1 – The terms of spring vegetative renewal and stop in autumn vegetation of the main agricultural crops in 2016-2020 (according to the Izhevsk weather station data)

Год / Year	Срок перехода среднесуточной температуры через +5 °С / The date of the transition of the average daily temperature over +5 °С			
	весна / in spring		осень / in autumn	
	дата / date	отклонение, сут / deviation, day	дата / date	отклонение, сут / deviation, day
Норма / Norm	20 апреля / 20 th , April	-	10 октября / 10 th , October	-
2016	09 апреля / 9 th , April	+11	05 октября / 5 th , October	-5
2017	19 апреля / 19 th , April	+1	08 октября / 8 th , October	-2
2018	21 апреля / 21 st , April	-1	17 октября / 17 th , October	+7
2019	17 апреля / 17 th , April	+3	13 октября / 13 th , October	+3
2020	13 апреля / 13 th , April	+7	17 октября / 17 th , October	+7
Среднее / Average	16 апреля / 16 th , April	+4	12 октября / 12 th , October	+2

В 2016 г. весной переход среднесуточной температуры через +5 °С отмечен 9 апреля, т. е. на 11 сут раньше, чем по многолетним данным. В последующие годы наблюдались отклонения от многолетних значений на 1-7 сут. В среднем за прошедшие 5 лет возобновление весенней вегетации происходило на 4 сут раньше средне-многолетних значений. Эти данные согласуются с результатами, полученными другими исследователями. Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через +5 °С весной на территории Российской Федерации в 2020 г. наступила раньше, чем в 2000-2019 гг., на 7 сут, в Приволжском федеральном округе – раньше на 3 сут.

Продолжительность периода с температурой выше +5 °С наблюдали на территории Российской Федерации больше на 12 сут, в Приволжском федеральном округе – на 10 сут [3].

Осенью при переходе среднесуточной температуры воздуха ниже +5 °С прекращается вегетация озимых культур. По многолетним значениям метеостанции Ижевск это происходит 10 октября. Прекращение осенней вегетации в 2016 и 2017 гг. происходило раньше соответственно на 5 и 2 сут, в 2018-2020 гг. – на 3-7 сут позднее. В среднем за прошедшие 5 лет прекращение осенней вегетации происходило на 2 сут позднее.

⁴Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 115 с.

Продолжительность вегетационного периода, считая интервал между датами перехода среднесуточной температуры воздуха через +5 °С весной и осенью, по годам изменялась на различные величины и даже разнонаправленно. В 2017 г. эта продолжительность была меньше на 1 сут, чем многолетние значения, в 2020 г. – больше на 14 сут. В среднем за последние 5 лет продолжительность вегетационного периода увеличилась на 6 сут.

Сопоставляя полиномиальные линии тренда динамики среднесуточной температуры воздуха шестой степени за последние 5 лет с линией среднесуточных значений, следует отметить, что каждый из исследуемых вегетационных периодов характеризуется своей индивидуальностью. В 2016 г. с начала вегетации до третьей декады мая, затем с середины июня и до конца сентября среднесуточная температура воздуха значительно превышала норму. В 2017 г. с конца апреля до третьей декады июля среднесуточная температура была ниже нормы, а затем до середины сентября – выше нормы. В 2018 г. с начала вегетации до конца июня среднесуточная температура воздуха была ниже, а последующий

период – выше нормы. В 2019 г. среднесуточная температура воздуха с начала вегетационного периода до начала июня была выше нормы, затем до середины сентября – ниже и далее до конца вегетационного периода – выше нормы. В 2020 г. с начала вегетации до второй декады мая среднесуточная температура воздуха превышала норму, затем до середины августа – была близка к норме и далее до конца вегетационного периода вновь превышала норму.

В 2021 г. среднесуточная температура воздуха в Среднем Предуралье была выше нормы: апрель – на 1,4 °С, май – на 4,6 °С, июнь – на 3,3 °С⁵.

Скорость метаболических процессов в растении, объёмы накопления синтезируемых продуктов и величина урожайности культур в значительной степени определяются суммой температур. Для типичных культур умеренной зоны наибольший интерес представляют сумма положительных температур, сумма температур выше +5 °С и +10 °С. На основании проведённых расчётов получены следующие значения сумм температур за последние 5 лет (табл. 2).

Таблица 2 – Сумма среднесуточных температур воздуха в 2016-2020 гг. (по данным метеостанции Ижевск)⁶
Table 2 – The sum of average air temperatures in 2016-2020 (according to the Izhevsk weather station data)

Год / Year	Сумма среднесуточных температур выше / The sum of average temperatures higher than					
	0 °С		+5 °С		+10 °С	
	значение / value	отклонение / deviation	значение / value	отклонение / deviation	значение / value	отклонение / deviation
Норма / Norm	2479	-	2387	-	2068	-
2016	2890	+411	2841	+454	2471	+403
2017	2334	-145	2208	-179	1891	-177
2018	2542	+63	2447	+60	2102	+34
2019	2429	-50	2324	-63	2005	-63
2020	2619	+140	2535	+148	2221	+153
Среднее / Average	2563	+84	2471	+84	2138	+70

По метеостанции Ижевск норма суммы положительных температур составляет 2479 °С, суммы температур выше +5 °С – 2387 °С, выше +10 °С – 2068 °С. В 2017 и 2019 гг. все эти суммы были ниже, а в 2016, 2018 и 2020 гг. – выше нормы. В среднем за прошедшие пять лет все суммарные значения температур превысили норму: суммы положительных температур и

выше +5 °С – на 84 °С, сумма температур выше +10 °С – на 70 °С, составив 2138 °С. Для сравнения, в Российской Федерации сумма температур выше +5 °С за последнее двадцатилетие к 2020 г. увеличилась на 150 °С, а выше +10 °С – на 117 °С; по Приволжскому федеральному округу суммы температур соответственно повысились на 30 °С и понизились на 35 °С [3].

⁵Погода и климат. Климатический монитор. Погода в Ижевске. Температура воздуха и осадки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28411&month=4-6&year=2021> (дата обращения: 10.07.2021).

⁶Расчёты проведены на основании данных ежесуточной средней температуры воздуха, размещённых на сайте. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28411&month=4-10&year=2016-2021>

Средние скорости изменения сумм температур в Приволжском федеральном округе за 1976-2012 гг. составили: сумма температур выше +5 °С – 124 °С × сут/10 лет; сумма температур выше +10 °С – 112 °С × сут/10 лет, а продолжительность этого периода увеличилась на 3,8 сут/10 лет [3].

В восточном районе центральной климатической зоны Кировской области, примыкающей к Удмуртской Республике, за период с 1970 по 2020 год отмечена устойчивая трендовая направленность среднегодовой температуры воздуха при скорости роста 0,39 °С/10 лет. В последние два десятилетия среднегодовая температура была выше нормы на 0,7...2,6 °С [10].

Исследованиями, проведенными В. Н. Степановым в середине XX века, установлено, что сельскохозяйственные культуры предъявляют различные требования к биологическому минимуму температуры на разных этапах развития растения. Например, для яровой пшеницы биологическим минимумом при формировании вегетативных органов является +4...+5 °С, а при формировании генеративных органов и плодоношении – +10...+12 °С⁷. Поэтому при расчёте суммы активных температур для яровой пшеницы, как правило, используют сумму температур выше +10 °С.

Чем более позднеспелым является сорт, тем большая сумма активных температур ему

требуется:⁷ для раннеспелых сортов яровой пшеницы – 1100-1400 °С, среднеспелых – 1400-1700 °С, позднеспелых – 1600-1800 °С.

Сумма активных температур (выше +10 °С) в южной агроклиматической зоне Удмуртской Республики за последние пять лет составила в пределах 1891-2471 °С (см. табл. 2). Если учесть, что яровые зерновые культуры в Среднем Предуралье обычно высевают в разные годы с середины апреля до середины мая, а убирают в августе, то сумма активных температур с 1 мая по 31 августа – типичный период выращивания яровых зерновых культур – составила от 1672 °С в 2017 г. до 2189 °С в 2016 г., а в среднем за 2016-2020 гг. – 1867 °С. Полученные данные по теплообеспеченности вегетационных периодов свидетельствуют о возможности выращивания сортов яровой пшеницы как раннеспелой, так и среднеспелой групп. Подобный вывод сделан и по Кировской области⁸.

Кроме температурного, в жизни растений большую роль играет и фактор влаги. Показателем, обобщающим эти два фактора, является гидротермический коэффициент (ГТК) увлажнения Селянинова. В таблице 3 приведены расчёты, выполненные на основании ежесуточных данных температур выше +10 °С и выпавших атмосферных осадков в течение вегетационного периода.

Таблица 3 – Значения гидротермического коэффициента в 2016-2020 гг. по южному агроклиматическому району Удмуртской Республики (метеостанция Ижевск) /

Table 3 – The values of hydrothermal coefficient in 2016-2020 over the southern agroclimatic region of the Udmurt Republic (Izhevsk weather station)

Год / Year	Сумма температур выше +10 °С, умноженная на коэффициент 0,1 ⁹ / The sum of temperatures higher than +10 °С, multiplied by coefficient 0.1 ⁹	Сумма осадков за период с температурой выше +10 °С, мм / Precipitation amount for the period with temperature higher than +10 °С, mm	ГТК / HTC
Норма / Year	206,8	200-225 ¹⁰	1,0-1,2 ¹¹
2016	247,1	155	0,63
2017	189,1	324	1,72
2018	210,2	177	0,84
2019	200,5	307	1,53
2020	222,1	212	0,95
Среднее / Average	213,8	235	1,10

⁷Степанов В. Н. Растения и среда. М.: Знание, 1964. 48 с.

⁸Яровая мягкая пшеница в Кировской области. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1999. 58 с.

⁹Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР. Л.: Гидрометеоздат, 1974. С. 15.

¹⁰Там же. С. 22.

¹¹Там же. С. 17.

Согласно справочным данным, южный агроклиматический район Удмуртской Республики, занимающий около половины её территории, характеризуется значениями ГТК = 1,0-1,2. Это классифицируется как оптимальные условия увлажнения. За последние 5 лет в среднем значение ГТК составило 1,1, что укладывается в типичный диапазон этого параметра. Однако по годам были получены значительные колебания. Так, в 2016, 2018 и 2020 годы значение ГТК было соответственно 0,63 (низкая влагообеспеченность), 0,84 и 0,95 (недостаточная влагообеспеченность), 2017 и 2019 год имели ГТК соответственно 1,72 и 1,53 и характеризовались избыточно влажными. Для сравнения, анализ значений ГТК за пятидесятилетний период на территории Ульяновской области показал тенденцию уменьшения величины коэффициента ГТК [11].

Наши наблюдения о негативном влиянии на урожайность яровой пшеницы высокой

температуры и дефицита осадков в июне подтверждены в исследованиях, проведённых в Кировской области, которые показали, что майско-июньские осадки определяли величину урожайности яровых зерновых культур [12]. Кроме того, было установлено, что между средней урожайностью яровой пшеницы и температурой воздуха в июне имеется сильная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,74$), а с количеством осадков в этот период – сильная прямая ($r = 0,69$) [10].

Анализ корреляционных связей урожайности в 2016-2020 гг. на территории Удмуртской Республики сортов яровой пшеницы, полученных на Можгинском ГСУ (южный агроклиматический район), и средней урожайности яровой пшеницы в хозяйствах всех категорий со значениями гидротермического коэффициента, рассчитанными в таблице 3, показал следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4 – Корреляционная связь урожайности сортов яровой пшеницы с гидротермическим коэффициентом на Можгинском ГСУ и в хозяйствах всех категорий Удмуртской Республики /

Table 4 – Correlative relationship between the yield of spring wheat varieties on Mozgino State Variety Test Plot and on the farms of all categories of the Udmurt Republic with hydrothermal coefficient

Сорт / Variety	Урожайность, ц/га / Yield, c/ha						Коэффициент корреляции / Correlation coefficient
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее / average	
Омская 36 / Omskaya 36	44,6	48,1	37,0	43,1	34,9	41,5	0,54
Иргина / Irgina	40,6	46,2	35,0	43,4	35,2	40,1	0,76
Свеча / Svecha	43,2	44,0	35,4	46,5	36,7	41,2	0,58
Ульяновская 105 / Uliyanovskaya 105	56,8	57,5	42,6	39,6	43,5	48,0	0,01
Черноземноуральская 2 / Chernozemnoualskaya 2	55,7	58,0	44,4	55,2	43,4	51,3	0,52
Экада 109 / Ekada 109	46,7	53,2	39,9	47,9	44,5	46,4	0,74
Среднее по ГСУ / Average by the State Variety Test Plot	47,9	51,2	39,1	46,0	39,7	44,8	0,53
Средняя по Удмуртской Республике ¹² / Average by the Udmurt Republic	13,3	19,9	17,9	20,6	20,2	18,4	0,73

Во-первых, сорта характеризуются разным уровнем потенциала урожайности и разной способностью его реализации в различных условиях формирования. Поэтому, если ранне-спелый сорт Иргина и среднеспелый сорт Экада 109 показали положительную сильную корреляционную связь с ГТК (соответственно 0,76 и 0,74), то среднеранний сорт Омская 36, ранне-

спелый сорт Свеча, среднеспелый Черноземноуральская 2 – положительную среднюю корреляционную связь с ГТК (соответственно 0,54; 0,58 и 0,52); среднеспелый сорт Ульяновская 105 не проявил какой-либо зависимости урожайности от ГТК. В среднем выявлена положительная средняя корреляционная зависимость урожайности зерна от ГТК.

¹²Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Удмуртской Республике в 2020 году: [издание официальное]: статистический бюллетень: в 3 частях. Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Удмуртской Республике. Ижевск: Удмуртстат, 2021.

Во-вторых, урожайность зерна яровой пшеницы в среднем по Удмуртской Республике в хозяйствах всех категорий имела со значением ГТК сильную положительную корреляционную зависимость ($r = +0,73$), т. е. уровень урожайности яровой пшеницы тем выше, чем выше влагообеспеченность вегетационного периода культуры при невысокой его теплообеспеченности.

Выводы. 1. В Среднем Предуралье в 2016-2020 гг. в сравнении с многолетними значениями происходило потепление: сумма положительных температур увеличилась в среднем на 84 °С, составив 2563 °С; сумма температур выше +5 °С – увеличилась на 84 °С, составив 2471 °С; сумма температур выше +10 °С – увеличилась на 70 °С, составив 2138 °С. Повышение теплообеспеченности региона позволяет уверенно выращивать сорта яровой пшеницы как раннеспелой, так и среднеспелой групп.

2. Несмотря на общий тренд повышения температуры, каждый вегетационный период характеризуется своей индивидуальностью, положительными и отрицательными отклонениями от нормы как в целом, так и в отдельные его промежутки.

3. Увеличение суммы температур привело к более раннему переходу средней суточной температуры весной через +5 °С на 4 сут, а осенью – к более позднему переходу на 2 сут, удлинив вегетационный период в среднем на 6 сут. Это обеспечивает раннее возобновление вегетации весной и позднее прекращение вегетации озимых культур, а также возможность более раннего начала полевых работ с яровыми культурами весной.

4. Между средней урожайностью зерна яровой пшеницы в хозяйствах всех категорий Удмуртской Республики и ГТК установлена сильная положительная корреляционная связь ($r = +0,73$).

Список литературы

1. Адаптивное земледелие на Среднем Урале: состояние, проблемы и пути их решения. Под общ. ред. Н. Н. Зезина, А. Н. Семина. Екатеринбург: ИРА УТК, 2010. 338 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с. Режим доступа: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2016/od2/od2full.pdf>
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 104 с. Режим доступа: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf
4. Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М., Важнова Н. А., Наумов Э. П., Шумихина А. В. Изменения климата на территории Приволжского федерального округа в последние десятилетия и их взаимосвязь с геофизическими факторами. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2012;(4):122-135. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18303770>
5. Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М., Шумихина А. В. Долгопериодные изменения температуры воздуха в Удмуртии на фоне изменений температуры в умеренной зоне Северного полушария. Проблемы региональной экологии и географии: мат-лы II Всеросс. научн.-практ. конф. с международным участием. Ижевск, 2017. С. 28-31.
6. Переведенцев Ю. П., Шумихина А. В. Динамика биоклиматических показателей комфортности природной среды в Удмуртской Республике. Ученые записки Казанского университета. Серия: естественные науки. 2016;158(4):531-547. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28363462>
7. Calderone L. Effects of Extreme Weather on Farming. AgritechTomorrow: Online Trade Magazine Agricultural Technology and Precision Farming. 12/26/18. Available at: <https://www.agritechtomorrow.com/article/2018/06/top-article-for-2018-effects-of-extreme-weather-on-farming/10806> (accessed 27.04.2021).
8. Arora N. K. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. Environmental Sustainability. 2019;2:95-96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
9. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. European Environment Agency. 2019. 108 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>
10. Лыскова И. В., Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;22(2):244-253. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>
11. Карпович К. И., Шарипова Р. Б., Сабитов М. М. Агроклиматические показатели Ульяновской области. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(3(35)):9-13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26706931>
12. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на урожайность яровых зерновых культур в Кировской области. Методы и технологии в селекции растений в растениеводстве: мат-лы IV Международ. научн.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2018. С. 208-211.

References

1. *Adaptivnoe zemledelie na Srednem Urale: sostoyanie, problemy i puti ikh resheniya*. [Adaptive agriculture in the Middle Urals: state, problems and ways to solve them]. *Pod obshch. red.* N. N. Zezina, A. N. Semina. Ekaterinburg: IRA UTK, 2010. 338 p.

2. *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii*. [The second evaluation report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1008 p. URL: <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2016/od2/od2full.pdf>

3. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2020 god*. [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2020]. Moscow, 2021. 104 p. URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf

4. Perevedentsev Yu. P., Shantalinskiy K. M., Vazhnova N. A., Naumov E. P., Shumikhina A. V. *Izmeneniya klimata na territorii Privolzhskogo federal'nogo okruga v poslednie desyatiletiya i ikh vzaimosvyaz' s geofizicheskimi faktorami*. [Changes of the climate in Privolzhsky federal district in the recent decades and their relationship to geophysical factors]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o zemle* = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2012;(4):122-135. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18303770>

5. Perevedentsev Yu. P., Shantalinskiy K. M., Shumikhina A. V. *Dolgoperiodnye izmeneniya temperatury vozdukh v Udmurtii na fone izmeneniy temperatury v umerennoy zone Severnogo polushariya*. [Long-period changes in air temperature in Udmurtia against the background of temperature changes in the temperate zone of the Northern hemisphere]. *Problemy regional'noy ekologii i geografii: mat-ly II Vseross. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. [Problems of regional ecology and geography: Mat-ly II All-Russian Scientific and practical conference with international participation]. Izhevsk, 2017. pp. 28-31.

6. Perevedentsev Yu. P., Shumikhina A. V. *Dinamika bioklimaticheskikh pokazateley komfortnosti prirodnoy sredy v Udmurtskoy Respublike*. [The dynamics of the bioclimatic indices of environmental comfort in the Udmurt Republic, Russia]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: estestvennyye nauki*. 2016;158(4):531-547. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28363462>

7. Calderone L. Effects of Extreme Weather on Farming. *AgriTechTomorrow: Online Trade Magazine Agricultural Technology and Precision Farming*. 12/26/18. Available at: <https://www.agritechtomorrow.com/article/2018/06/top-article-for-2018-effects-of-extreme-weather-on-farming/10806> (accessed 27.04.2021).

8. Arora N. K. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*. 2019;2:95-96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>

9. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. European Environment Agency. 2019. 108 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>

10. Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. *Vliyaniye lokal'nogo izmeneniya klimata na produktivnost' yarovykh zernovykh kul'tur v usloviyakh Kirovskoy oblasti*. [The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;22(2):244-253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>

11. Karpovich K. I., Sharipova R. B., Sabitov M. M. *Agroklimaticheskie pokazateli Ulyanovskoy oblasti*. [Agroclimate factors of Ulyanovsk region]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016;(3(35)):9-13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26706931>

12. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N. *Vliyaniye mineral'nykh udobreniy i pogodnykh usloviy na urozhaynost' yarovykh zernovykh kul'tur v Kirovskoy oblasti*. [The influence of mineral fertilizers and weather conditions on the yield of spring grain crops in the Kirov region]. *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy v rastenievodstve: mat-ly IV Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf.* [Methods and technologies in plant breeding in crop production: Proceedings of the IV International scientific and practical conf.]. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka*, 2018. pp. 208-211.

Сведения об авторах

✉ **Ленточкин Александр Михайлович**, доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой плодовоовощеводства и защиты растений, ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Студенческая, д. 11, г. Ижевск, Российская Федерация, 426069, e-mail: rector@izhgsha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0256-489X>, e-mail: agropod@izhgsha.ru

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

Information about the authors

✉ **Alexandr M. Lentochkin**, DSc in Agricultural sciences, professor, Head of the Department of Fruit and Vegetable Growing and Plant Protection, Izhevsk State Agricultural Academy, Studencheskaya street, 11, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426069, e-mail: rector@izhgsha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0256-489X>, e-mail: agropod@izhgsha.ru

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

✉ – Для контактов / Corresponding author



Зависимость семенной продуктивности яровой пшеницы от доз минеральных удобрений и норм высева

© 2021. Д. А. Кузнецов , Г. Н. Ибрагимова

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

В статье представлены результаты полевых исследований, проведенных в 2018-2020 гг. на черноземе выщелоченном лесостепи Поволжья. Объект исследований – сорта яровой пшеницы Тулайковская 10 (контроль), Йолдыз и Тулайковская 108. При нормах высева 5,0 и 5,5 млн всх. семян на 1 га изучали действие минеральных удобрений, которые были представлены полным минеральным удобрением NPK по 16 кг д. в. и подкормками минеральным азотным удобрением в фазу кущения в дозах 30, 60 и 90 кг д. в. /га на этом фоне. Увеличение нормы высева семян с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га привело к существенному приросту урожайности яровой пшеницы во все годы изучения (на 0,11-0,26 т/га), массы 1000 семян – на 1,44 г (НСР₀₅ = 1,14), natуры зерна на 8 г/л (НСР₀₅ = 5). Доказан эффект от подкормки азотными удобрениями – прибавки урожайности составили от 0,15 до 0,28 т/га в среднем за три года, максимальные от дозы 60 кг д. в. /га. Статистически значимое увеличение массы 1000 семян обеспечили азотные подкормки в дозах 60 и 90 кг д. в. /га – на 2,79 и 1,87 г соответственно (НСР₀₅ = 1,47), natура зерна возросла при дозах 30, 60 и 90 кг д. в./га соответственно на 34, 23 и 16 г/л (НСР₀₅ = 2). Средняя урожайность сортов яровой пшеницы при выделенных сочетаниях факторов (5,5 млн всх. семян/га, N₆₀) находилась в пределах 2,64-2,70 т/га с массой 1000 зерен 44,03-44,56 г и natурой зерна 765-783 г/л. Изучаемые сорта различались по отзывчивости на азотную подкормку (N₆₀ по фону NPK): Тулайковская 10 (+0,43 т/га), Тулайковская 108 (+0,39 т/га), Йолдыз (+0,24 т/га). Прибавки урожайности от увеличения нормы высева составили 0,20 (Йолдыз), 0,25 (Тулайковская 108) и 0,26 т/га (Тулайковская 10). В целом по опыту относительно контрольного сорта Тулайковская 10 выделился сорт Йолдыз со стабильной прибавкой урожайности по годам исследований (+0,08 т/га), статистически значимой в годы с недостаточным увлажнением. Сорт Йолдыз отличался повышенной рентабельностью возделывания – до 59,4 % при норме высева 5,5 млн всх. семян/га на фоне внесения минеральных удобрений N₁₆P₁₆K₁₆ под предпосевную культивацию.

Ключевые слова: сорта, норма высева, удобрения, урожайность, natура зерна

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кузнецов Д. А., Ибрагимова Г. Н. Зависимость семенной продуктивности яровой пшеницы от доз минеральных удобрений и норм высева. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):835-843. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.835-843>

Поступила: 16.03.2021 Принята к публикации: 23.11.2021 Опубликована онлайн: 15.12.2021

Dependence of spring wheat seed productivity on mineral fertilizer doses and seeding rates

© 2021. Dmitry A. Kuznetsov , Galina N. Ibragimova

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

The article presents the results of field studies conducted in 2018-2020 on the leached chernozem of the Volga forest-steppe. The objects of the research are the varieties of spring wheat Tulaykovskaya 10 (control), Yoldyz and Tulaykovskaya 108. At seeding rates of 5.0 and 5.5 million viable seeds per 1 ha the effect of mineral fertilizers was studied. The fertilizers were represented by a complete NPK mineral fertilizer of 16 kg a.i. and by top-dressing with mineral nitrogen fertilizer in the tillering phase at the doses of 30, 60 and 90 kg a.i./ha against this background. An increase in the seeding rate of seeds from 5.0 to 5.5 million seeds per 1 ha led to a significant increase in the yield of spring wheat in all years of study (by 0.11-0.26 t/ha), the weight of 1000 seeds – by 1.44 g (LSD₀₅ = 1.14), the nature of grain – by 8 g/l (LSD₀₅ = 5). The effect of top-dressing with nitrogen fertilizers has been proved – the increase in yield ranged from 0.15 to 0.28 t/ha over three years on the average, the maximum from a dose of 60 kg a.i. A statistically significant increase in the weight of 1000 seeds was provided by nitrogen fertilization in doses of 60 and 90 kg a.i./ha – by 2.79 and 1.87 g, respectively (LSD₀₅ = 1.47), grain nature increased at doses of 30, 60 and 90 kg a.i./ha by 34, 23 and 16 g/l, respectively (LSD₀₅ = 2). The average yield of spring wheat varieties with the selected combination of factors (5.5 million seeds/ha, N₆₀) was in the range of 2.64-2.70 t/ha with a mass of 1000 grains 44.03-44.56 g, the nature of grain 765-783 g/l. The studied varieties differed in responsiveness to nitrogen fertilization (N₆₀ against the NPK background): Tulaykovskaya 10 (+0.43 t/ha), Tulaykovskaya 108 (+0.39 t/ha), Yoldyz (+0.24 t/ha). Increases in yield from an increase in the seeding rate were 0.20 (Yoldyz), 0.25 (Tulaykovskaya 108) and 0.26 t/ha (Tulaykovskaya 10). In general, according to the experiment relative to the control variety Tulaykovskaya 10, the variety Yoldyz stood out with a stable increase in yield over the years of research (+0.08 t/ha), statistically significant in years with insufficient moisture. The Yoldyz variety was distinguished by an

increased profitability of cultivation – up to 59.4 % at a seeding rate of 5.5 million viable seeds/ha against the background of applying mineral fertilizers N₁₆P₁₆K₁₆ for pre-sowing soil cultivation.

Keywords: varieties, seeding rate, fertilizers, yield, nature of grain

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

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

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

For citations: Kuznetsov D. A., Ibragimova G. N. Dependence of spring wheat seed productivity on mineral fertilizer doses and seeding rates. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):835-843. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.835-843>

Received: 16.03.2021

Accepted for publication: 23.11.2021

Published online: 15.12.2021

В настоящее время возделывание сельскохозяйственных культур невозможно представить без применения минеральных удобрений, которые обеспечивают не только прибавку урожая, но и значительно повышают качество получаемой продукции. Азотные удобрения являются наиболее эффективными при выращивании зерновых культур, которые нуждаются в азотном питании с раннего периода развития растений [1, 2, 3]. Высокая требовательность яровой пшеницы по сравнению с другими зерновыми культурами к наличию питательных веществ в почве связана со слабым развитием её корневой системы и низкой усвояющей способностью корней [4].

В последние годы в связи с внедрением в производство ресурсосберегающих технологий затраты на приобретение семян стали основной статьёй расходов при возделывании полевых культур. Оптимальные нормы высева для яровых зерновых культур 4,5-5,0 млн всхожих семян на 1 га, которые были сформированы в период массовой интенсификации (1970-1980 гг.), в настоящее время не всегда оправданы. Многочисленные исследования по этому вопросу выявили сильную зависимость норм высева яровых культур от условий увлажнения и культуры земледелия [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Таким образом, совершенствование ключевых элементов технологии возделывания культуры в аспекте ресурсосбережения, широкое использование в производстве достижений современной селекции является одним из направлений в решении поставленной проблемы стабилизации производства яровой пшеницы [11].

Цель исследований – изучить влияние сочетания предпосевного внесения сложного минерального удобрения и подкормки мине-

ральным азотным удобрением на урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

Новизна исследований состоит в научном обосновании применения азотных подкормок в технологии возделывания новых сортов яровой пшеницы при различных нормах высева.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Мордовского НИИСХ (филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) в 2018-2020 гг. по методике Б. А. Доспехова¹. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый со следующей агрохимической характеристикой пахотного слоя: содержание гумуса (по Тюрину) 9,1±0,2 %; общего азота (по Кьельдалю) – 0,49±0,01 %; подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) 210±50 мг/кг почвы и 113±14 мг/кг соответственно. Гидролитическая кислотность (по Каппену) составила 8,8±1,1 ммоль/100 г почвы, сумма поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу) – 30,6±0,8 ммоль/100 г почвы, степень насыщенности почвы основаниями – 77±2 %, рН_{кел} (потенциометрически) – 5,0±0,2.

Схема опыта предусматривала изучение нижепредставленных вариантов.

Сорта яровой пшеницы (фактор А):

1. Тулайковская 10 (контроль).
2. Йолдыз.
3. Тулайковская 108.

Норма высева (фактор В):

1. 5,0 млн всх. семян на 1 га (контроль).
2. 5,5 млн всх. семян на 1 га.

Минеральные удобрения (фактор С):

1. N₁₆P₁₆K₁₆ (контроль).
2. N₁₆P₁₆K₁₆ + N₃₀.
3. N₁₆P₁₆K₁₆ + N₆₀.
4. N₁₆P₁₆K₁₆ + N₉₀.

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

Площадь опытного участка – 0,1 га. Размер делянок I порядка – 115,2 м² (3,6×32,0 м), II порядка – 28,8 м² (3,6×8,0 м), III порядка – 14,4 м² (3,6×4,0 м). Повторность в опыте трехкратная, размещение вариантов систематическое.

Предшественником яровой пшеницы являлась озимая пшеница, выращенная по чистому пару. В опыте изучали сильные сорта яровой пшеницы с отличными хлебопекарными качествами. Сорт *Тулайковская 10* (контроль) – среднеспелый (78-85 дней), устойчивый к бурой ржавчине, засухе и полеганию, включен в Госреестр РФ с 2003 г. по Средневолжскому региону. *Новый сорт Тулайковская 108* – среднеспелый (74-85 дней), среднеустойчив к полеганию, засухоустойчивость на уровне и выше стандартов, восприимчив к пыльной и твердой головне, слабо поражается бурой ржавчиной и мучнистой росой, включен в Госреестр РФ с 2014 г. по Средневолжскому региону. *Новый сорт Йолдыз* – среднеспелый (78-95 дней), засухоустойчивый, умеренно устойчивый к бурой ржавчине, по устойчивости к полеганию уступает стандартам до 1 балла, включен с 2015 г. в Госреестр РФ по Волго-Вятскому, Центрально-Черноземному и Средневолжскому регионам.

Минеральные удобрения в форме азот-фоски с содержанием NPK по 16 % в дозе 1,5 ц/га вносили непосредственно под предпосевную культивацию почвы, аммиачную селитру во время вегетации (фаза начала кущения) вручную (поделяночно) в соответствии со схемой опыта.

Предпосевная обработка почвы заключалась в ранневесеннем бороновании и предпосевной культивации зяби. Посев проводили сеялкой СЗ-3,6 в первой декаде мая. После посева почву прикатывали. Агротехника в опыте, рекомендованная для условий Республики Мордовии², кроме изучаемых факторов. Учет урожая зерна проводили сплошным методом поделяночно комбайном «Сампо-500». Результаты переведены на 100 % чистоту и 14 % влажность. Урожайные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа.

Агротеморологические условия в годы проведения исследований были не совсем благоприятными для роста и развития растений яровой пшеницы. В 2018 году за период вегетации средняя температура воздуха составила 18,3 °С (на 1,8 °С выше климатической

нормы), сумма эффективных температур – 1542 °С (на 149 °С выше нормы). В целом вегетационный период был сильно засушливым (ГТК = 0,5).

Вегетационный период 2019 года характеризовался типичными для данной зоны погодными условиями. Согласно гидротермическим коэффициентам, засушливыми условиями (от слабой до сильной засухи) характеризовались май, две первые декады июня и третья декада июля, переувлажненными условиями – третья декада июня, две первые декады июля и первая декада августа. Гидротермический коэффициент за весь период вегетации составил 0,8 (среднепогодный – 1,09) и свидетельствовал о слабой степени засухи.

Практически каждый год складывались экстремальные условия в отдельные фазы развития и этапы органогенеза растений. Не исключением был 2020 год, для которого была характерна ранняя, прохладная и дождливая весна и умеренно теплое лето. Майская, дождливая погода и недобор тепла создали условия для довольно сильного переувлажнения почвы, когда выпало 103 мм осадков при норме 37 мм (278 % от климатической нормы).

В первой декаде июня температура воздуха находилась на уровне среднепогодных значений, во второй декаде превысила их на 2,1 °С, в третьей, наоборот, была на 2,0 °С ниже нормы. По сумме осадков за этот месяц наблюдался дефицит 12 мм в сравнении со среднепогодными значениями. Температура воздуха в первой декаде июля была выше средней многолетней нормы, в последующих декадах месяца – ниже на 0,3-1,2 °С. По осадкам наблюдался дефицит (11 мм), особенно, в третьей декаде.

Результаты и их обсуждение. Исследования, проведенные ранее, показали, что при возделывании яровой пшеницы на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях лесостепи Среднего Поволжья максимальную прибавку семенной продуктивности обеспечивало внесение аммиачной селитры в фазу кущения культуры по фону внесения азот-фоски непосредственно под предпосевную культивацию [12].

В нашем продолжающемся опыте при анализе средних значений по изучаемым факторам отмечены следующие закономерности.

²Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовия. Под ред. А. М. Гурьянова. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. 425 с.

Доказанный эффект от внесения доз азотных удобрений (фактор С) в фазу начала кущения яровой пшеницы наблюдали во все годы исследований (табл. 1). В 2020 году при благоприятных условиях увлажнения прибавки урожайности яровой пшеницы от применения доз азота были вдвое выше, чем в засушливом 2018 году (0,20-0,42 т/га

против 0,11-0,19 т/га). Максимальная прибавка урожайности яровой пшеницы получена от азотной подкормки в дозе 60 кг д. в. (0,28 т/га в среднем за три года). Дозы N₃₀ и N₉₀ были менее эффективными – прибавка урожайности относительно фонового внесения NPK составила 0,15 и 0,18 т/га соответственно.

Таблица 1 – Действие минеральных удобрений и норм высева на урожайность зерна сортов яровой пшеницы / Table 1 – The effect of mineral fertilizers and seeding rates on the grain yield of spring wheat varieties

Фактор / Factor			Урожайность, т/га / Yield, t/ha			
сорт / variety (A)	норма высева / seeding rate (B)	удобрения / fertilizer (C)	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее / average
Тулайковская 10 (контроль) / Tulaykovskaya 10 (control)	5,0 млн всх. семян/га / 5.0 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	2,09	2,15	2,34	2,19
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	2,20	2,28	2,51	2,33
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	2,26	2,34	2,69	2,43
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	2,21	2,29	2,56	2,35
	5,5 млн всх. семян/га / 5.5 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	2,13	2,20	2,46	2,26
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	2,29	2,40	2,76	2,48
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	2,43	2,58	3,07	2,69
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	2,36	2,51	2,86	2,57
Йолдыз / Yoldiz	5,0 млн всх. семян/га / 5.0 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	2,19	2,26	2,46	2,30
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	2,26	2,34	2,57	2,39
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	2,33	2,41	2,77	2,50
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	2,24	2,33	2,61	2,39
	5,5 млн всх. семян/га / 5.5 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	2,31	2,39	2,68	2,46
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	2,39	2,51	2,89	2,60
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	2,44	2,59	3,08	2,70
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	2,37	2,52	2,87	2,59
Тулайковская 108 / Tulaykovskaya 108	5,0 млн всх. семян/га / 5.0 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	2,08	2,14	2,33	2,18
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	2,19	2,27	2,50	2,32
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	2,22	2,30	2,65	2,39
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	2,15	2,23	2,50	2,29
	5,5 млн всх. семян/га / 5.5 million viableseeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	2,12	2,19	2,45	2,25
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	2,22	2,33	2,68	2,41
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	2,39	2,53	3,01	2,64
		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	2,30	2,44	2,78	2,50
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ (част. разл. / particular differences)			0,15	0,16	0,21	0,19
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ (сорт / variety)			0,05	0,07	0,10	0,09
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ (норма высева / seeding rate)			0,06	0,08	0,14	0,11
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ (удобрения / fertilizer)			0,02	0,03	0,12	0,09

Увеличение нормы высева семян с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га (фактор В) привело к существенным прибавкам урожайности яровой пшеницы во все годы изучения:

0,11 (2018 г.), 0,15 (2019 г.) и 0,26 т/га (2020 г.). В целом по опыту среди сортов яровой пшеницы (фактор А) относительно контрольного сорта Тулайковская 10 выделился сорт Йолдыз

со стабильной прибавкой урожайности по годам (+0,08 т/га), существенно значимой в 2018 и 2019 гг. ($НСР_{05}$ по фактору А – 0,05 и 0,07 соответственно).

Таким образом, при возделывании сортов яровой пшеницы статистически доказано преимущество нормы высева 5,5 млн всх. семян на га и азотной подкормки в дозе N_{60} . В среднем за три года изучения урожайность сортов яровой пшеницы в этих вариантах была примерно на одном уровне: 2,69 т/га (Тулайковская 10), 2,70 т/га (Йолдыз), 2,64 т/га (Тулайковская 108). Сорта по-разному реагировали на внесение N_{60} по фону $НРК$ при норме высева 5,5 млн всх. семян/га. Так, сорт Тулайковская 10 обеспечил прибавку 0,43 т/га, сорт Тулайковская 108 – 0,39 т/га, а сорт Йолдыз – только 0,24 т/га. Сорт Йолдыз имел статистически значимое преимущество по урожайности в относительно засушливые годы исследований, и, обладая более высоким адаптивным потенциалом, превышал урожайность остальных сортов в контрольных вариантах опыта (при норме высева 5,0 млн всх. семян/га, без подкормки азотом) на 0,11-0,12 ц/га в среднем за три года.

Выявленные сортовые различия позволяют дифференцированно подходить к выбору факторов, влияющих на урожайность яровой пшеницы. Например, при норме высева 5,5 млн всх. семян на гектар урожайность сорта Йолдыз на уровне 2,60 т/га может быть достигнута при использовании азотной подкормки в дозе 30 кг д. в./га, для сортов Тулайковская 10 и Тулайковская 108 для получения урожайности 2,69 и 2,64 т/га необходимо дозу азота увеличить до 60 кг д. в./га. Или для повышения урожайности сорта Йолдыз до 2,46 т/га достаточно увеличить норму высева с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га, а для сортов Тулайковская 10 (2,48 т/га) и Тулайковская 108 (2,41 т/га) требуется дополнительно к этому провести азотную подкормку в дозе 30 кг д. в. /га.

Масса 1000 зерен – важный показатель технологических свойств семян. В целом по опыту (анализ средних по факторам) отмечено следующее влияние изучаемых факторов на рассматриваемый показатель. Увеличение нормы высева с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га привело к существенному увеличению массы 1000 семян с 41,60 до 43,04 г (+1,44 г, $НСР_{05} = 1,14$) (табл. 2).

Статистически значимое увеличение массы 1000 семян обеспечили азотные подкормки

в дозах 60 кг д. в./га (+2,79 г) и 90 кг д. в./га (+1,87 г) при $НСР_{05} = 1,47$. Воздействие дозы азота 30 кг д. в./га на массу 1000 семян (+1,43 г) находилось в пределах ошибки опыта.

По массе 1000 семян в среднем по вариантам опыта новые сорта находились на уровне контрольного Тулайковская 10. Отмеченное превышение показателя на 0,82 г (Йолдыз) и 0,34 (Тулайковская 108) статистически незначимо ($НСР_{05} = 1,69$).

Максимальные показатели массы 1000 семян у изучаемых сортов отмечены при норме высева 5,5 млн всх. семян/га и применении азотной подкормки в дозе N_{60} на фоне $НРК$: от 43,56 г (Тулайковская 108) до 44,56 г (Йолдыз). Под воздействием этих факторов статистически значимое увеличение массы 1000 семян по сравнению с контрольными вариантами опыта (норма высева 5,0 млн всх. семян/га, без подкормки азотом) отмечено у сортов Тулайковская 10 и Тулайковская 108 (на 4,39 и 4,27 г соответственно при $НСР_{05} = 3,72$ г), сорт Йолдыз, обладая изначально более высокими показателями массы 1000 семян, не обеспечил существенного роста этого показателя (+2,94 г).

Увеличение нормы высева с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га привело к существенному увеличению натурности зерна с 748 до 758 г/л (+8 г/л, $НСР_{05} = 5$).

Статистически значимое увеличение натурности зерна обеспечили азотные подкормки при применении всех изучаемых доз: +34 (N_{30}), +23 (N_{60}), +16 г/л (N_{90}) при $НСР_{05} = 2$ г/л.

По показателю «натура зерна» в среднем по вариантам опыта новые сорта существенно превысили уровень контрольного Тулайковская 10 (736 г/л), Йолдыз (765 г/л), Тулайковская 108 (756 г/л) ($НСР_{05} = 7$).

Данные опыта показали, что максимальных показателей натурности зерна сортов Тулайковская 10 и Тулайковская 108 (774-786 г/л) можно достигнуть при норме высева 5,0 млн всх. семян/га и подкормке N_{30} , сорта Йолдыз (812 г/л) – N_{60} .

Экономическая эффективность существенно зависела от материальных затрат на возделывание яровой пшеницы и ее урожайности. Нашими исследованиями установлено, что в среднем по опыту при возделывании сортов яровой пшеницы с нормой высева 5,0 млн всх. семян/га получен наиболее высокий условно чистый доход 13,97 тыс. руб./га по сравнению с нормой высева 5,5 млн всх. семян/га – 13,05 тыс. руб. (табл. 3).

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

Таблица 2 – Масса 1000 семян и натура зерна сортов яровой пшеницы при различных нормах высева и дозах минеральных удобрений (среднее за 2018-2020 гг.) /

Table 2 – The mass of 1000 seeds and the nature of grain of spring wheat varieties at different seeding rates and doses of mineral fertilizers (average for 2018-2020)

Фактор / Factor			Масса 1000 зерен, г/ Weight of 1000 grains, g	Натура зерна, г/л / Nature of graing/l	
сорт / variety (A)	норма высева / seeding rate (B)	удобрения / fertilizer (C)			
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10	5,0 млн всх. семян/га / 5.0 million of viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	39,64	722	
Йолдыз / Yoldiz			41,62	757	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			39,29	742	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	40,64	774	
Йолдыз / Yoldiz			41,67	778	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			41,75	786	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	42,70	659	
Йолдыз / Yoldiz			43,98	812	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			42,70	750	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	41,15	723	
Йолдыз / Yoldiz			41,88	736	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			42,20	741	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		5,5 млн всх. семян/га / 5.5 million of viableseeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	41,09	722
Йолдыз / Yoldiz				41,38	727
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108				41,80	734
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10			N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	42,67	750
Йолдыз / Yoldiz				43,22	759
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108				43,41	763
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀		44,03	774	
Йолдыз / Yoldiz			44,56	783	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			43,56	765	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀		43,57	765	
Йолдыз / Yoldiz			43,73	768	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			43,49	764	
НСР ₀₅ /LSD ₀₅ (част. разл. / particular differences)			3,72	9	
НСР ₀₅ /LSD ₀₅ (сорт / variety)			1,69	7	
НСР ₀₅ /LSD ₀₅ (норма высева / seeding rate)			1,14	5	
НСР ₀₅ /LSD ₀₅ (удобрения / fertilizer)			1,47	2	

Таблица 3 – Экономическая оценка возделывания сортов яровой пшеницы в зависимости от норм высева и доз удобрений, тыс. руб/га /

Table 3 – Economic assessment of cultivation of spring wheat varieties depending on seeding rates and fertilizer doses, thousand rub/ha

Фактор / Factor			Стоимость урожая / Yield cost	Затраты на возделывание / Cultivation costs	Условно чистый доход / Netoperating profit	Рентабельность, % / Profitability, %	
сорт / variety (A)	норма высева / seeding rate (B)	удобрения / fertilizer (C)					
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10	5,0 млн всх. семян/га / 5.0 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	54,75	39,17	15,58	39,8	
Йолдыз / Yoldiz			57,50	37,39	20,11	53,8	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			54,50	39,38	15,12	38,4	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	58,25	43,53	14,72	33,8	
Йолдыз / Yoldiz			59,75	42,27	17,48	41,4	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			58,00	43,74	14,26	32,6	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀	60,75	48,28	12,47	25,8	
Йолдыз / Yoldiz			62,50	46,83	15,67	33,5	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			59,75	49,27	10,48	21,3	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀	58,75	47,70	11,05	23,2	
Йолдыз / Yoldiz			59,75	47,16	12,59	26,7	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			57,25	49,17	8,08	16,4	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10		5,5 млн всх. семян/га / 5.5 million viable seeds/ha	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	56,50	41,73	14,77	35,4
Йолдыз / Yoldiz				61,50	38,59	22,91	59,4
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108				56,25	41,95	14,30	34,1
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10			N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₃₀	62,00	48,55	13,45	27,7
Йолдыз / Yoldiz				65,00	46,57	18,43	39,6
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108				60,25	50,09	10,16	20,3
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₆₀		67,25	55,73	11,52	20,7	
Йолдыз / Yoldiz			67,50	55,47	12,03	21,7	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			66,00	56,65	9,35	16,5	
Тулайковская 10 / Tulaikovskaya 10	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ + N ₉₀		64,50	53,72	10,78	20,1	
Йолдыз / Yoldiz			64,75	53,47	11,28	21,1	
Тулайковская 108 / Tulaikovskaya 108			62,75	55,11	7,64	13,9	

Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению затрат на 1 га площади и снижению уровня рентабельности. По рентабельности возделывания во всех вариантах опыта выделился сорт яровой пшеницы Йолдыз. Наиболее эконо-

мически выгодно выращивание сорта Йолдыз с нормой высева 5,5 млн всх. семян/га на фоне внесения азофоски (N₁₆P₁₆K₁₆) под предпосевную культивацию, уровень рентабельности производства составил 59,4 %.

Заключение. В результате исследований выявлено, что урожайность сортов яровой пшеницы на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях лесостепи Среднего Поволжья существенно повышалась при увеличении нормы высева с 5,0 до 5,5 млн всх. семян/га (на 0,17 т/га в среднем за три года) и азотных подкормках в фазу кущения культуры по фону $N_{16}P_{16}K_{16}$ с максимальным эффектом от дозы 60 кг д. в./га (+0,28 т/га). Средняя урожайность сортов яровой пшеницы при этом сочетании факторов получена в пределах 2,64-2,70 т/га.

Изучаемые сорта при норме высева 5,5 млн всх. семян/га различались по отзывчивости на азотную подкормку (N_{60} по фону НРК): Тулайковская 10 (+0,43 т/га), Тулайковская 108 (+0,39 т/га), Йолдыз (+0,24 т/га). Прибавки урожайности от увеличения нормы высева составили 0,20 т/га (Йолдыз), 0,25 (Тулайковская 108) и 0,26 т/га (Тулайковская 10). Выявленные сортовые различия позволяют дифференцированно подходить к выбору факторов, влияющих на урожайность яровой пшеницы.

Статистически значимое увеличение массы 1000 семян яровой пшеницы наблюдалось при норме высева 5,5 млн всх. семян/га и азотных подкормках в дозах 60 и 90 кг д. в./га, различий по сортам не выявлено.

К существенному росту показателя природы зерна яровой пшеницы привело как увеличение нормы высева, так и азотные подкормки в изучаемых дозах. По показателю «натура зерна» в среднем по вариантам опыта сортов Йолдыз (765 г/л) и Тулайковская 108 (756 г/л) существенно превысили уровень контрольного Тулайковская 10 (736 г/л),

В целом по опыту относительно контрольного сорта Тулайковская 10 выделился сорт Йолдыз со стабильной прибавкой урожайности по годам исследований (+0,08 т/га), статистически значимой в годы с недостаточным увлажнением.

Наиболее экономически выгодно возделывание сорта Йолдыз в варианте с нормой высева 5,5 млн шт. всх. семян/га на фоне внесения минеральных удобрений $N_{16}P_{16}K_{16}$ под предпосевную культивацию, уровень рентабельности производства составил 59,4 % при средней урожайности 2,46 т/га.

Список литературы

1. Энгватова И. В., Шестакова Е. О., Сторчак И. Г., Ерошенко Ф. В. Влияние элементов агротехнологии на азотное питание озимой пшеницы. *Аграрный научный журнал*. 2020;(12):55-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44395968>
2. Петров А. Ф., Мармулев А. Н., Митракова А. Г., Галузий Н. В. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество яровой пшеницы. Инновации и продовольственная безопасность. 2017;(4):14-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32319087>
3. Гринько А. В., Кулыгин В. А. Влияние уровней минерального питания на продуктивность яровой пшеницы Мелодия Дона на черноземе обыкновенном. *Научный альманах*. 2016;(10-2(24)):238-243. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27518173>
4. Чекин Г. В., Никифоров В. М., Чиколасва Н. В. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы полифункциональными хелатными микроудобрениями. Агрэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат-лы XIII Междунар. научн. конф. Воронеж: ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», 2016. С. 189-193.
5. Цындынов Б. С., Батудаев А. П., Мальцев Н. Н., Гребенщикова Т. В. Влияние различных сроков и норм высева на урожайность яровой пшеницы на чернозёмной почве Бурятии. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова*. 2018;(2 (51)):154-157. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35141272>
6. Гребенщиков В. Ю., Копылова В. С. Влияние норм высева и сроков посева на урожайность ячменя в условиях Присяня Иркутской области. Новые сорта и инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур – основа повышения эффективности сельскохозяйственного производства: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск: Иркутский ГАУ им. А. А. Ежеского, 2019. С. 131-140. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41377854>
7. Гринько А. В., Кулыгин В. А. Влияние норм высева семян при различных способах обработки на урожайность ярового тритикале. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018;(2):106-110. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32637648>
8. Денисов Е. П., Солодовников А. П., Четвериков Ф. П., Панасов М. Н. Изменение продуктивности яровой пшеницы в сухостепной зоне Заволжья под влиянием абиотических факторов. *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова*. 2013;(7):23-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19419184>
9. Куковской А. С., Нарушев В. Б. Совершенствование технологии возделывания яровой мягкой пшеницы в условиях нарастания засушливости климата. *Научная жизнь*. 2016;(4):67-76. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26145778>
10. Насиев Б. Н., Мухатаев Н. А. Влияние питательного режима и нормы высева семян на урожайность сортов яровой пшеницы. *Почвоведение и агрохимия*. 2009;(2):59-65. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42437847>
11. Вощедский Н. Н., Гринько А. В. Выращивание яровой твердой пшеницы в условиях Ростовской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;(3 (59)):23-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26454950>
12. Кузнецов Д. А. Влияние минеральных удобрений и норм высева на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. *Аграрный научный журнал*. 2020;(11):25-29. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i11pp25-29>

References

1. Engovatova I. V., Shestakova E. O., Storchak I. G., Eroshenko F. V. *Vliyaniye elementov agrotekhnologii na azotnoye pitaniye ozimoy pshenitsy*. [Influence of agricultural technology elements on nitrogen nutrition of winter wheat]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(12):55-58 (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44395968>
2. Petrov A. F., Marmulev A. N., Mitrakova A. G., Galuziy N. V. *Vliyaniye azotnykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo yarovoy pshenitsy*. [Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of grain of spring wheat]. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'* = Innovations and Food Safety. 2017;(4):14-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32319087>
3. Grinko A. V., Kulygin V. A. *Vliyaniye urovney mineral'nogo pitaniya na produktivnost' yarovoy pshenitsy Melodiya Dona na chernozeme obyknovennom*. [Influence of mineral nutrition level on productivity of spring wheat Don Melody on chernozem ordinary]. *Nauchnyy al'manakh* = Science Almanac. 2016;(10-2(24)):238-243. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27518173>
4. Chekin G. V., Nikiforov V. M., Chikolaeva N. V. *Predposevnaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy polifunktsional'nymi khelatnymi mikroudobreniyami*. [Presowing treatment of spring wheat seeds with multifunctional chelated micro-fertilizers]. *Agroekologicheskie aspekty ustoychivogo razvitiya APK: mat-ly XIII Mezhdunarod. nauchn. konf.* [Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex: Proceedings of the XIII International scientific conf.]. Voronezh: *FGBOU VO «Bryanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet»*, 2016. pp. 189-193.
5. Tsyndynov B. S., Batudaev A. P., Maltsev N. N., Grebenshchikova T. V. *Vliyaniye razlichnykh srokov i norm vyseva na urozhaynost' yarovoy pshenitsy na chernozemnoy pochve Buryatii*. [Influence of various seeding dates and rates on yields of spring wheat cultivated on black soil of Buryatia]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture. 2018;(2 (51)):154-157. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35141272>
6. Grebenshchikov V. Yu., Kopylova V. S. *Vliyaniye norm vyseva i srokov poseva na urozhaynost' yachmenya v usloviyakh Prisan'ya Irkutskoy oblasti*. [Uence of a seeding rate and sowing terms on barley yield under conditions of Prisan area in Irkutsk region]. *Novye sorta i innovatsionnye tekhnologii vozdeleyaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur – osnova povysheniya effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [New varieties and innovative technologies of cultivation of agricultural crops is the basis for improving the efficiency of agricultural production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Irkutsk: *Irkutskiy GAU im. A. A. Ezhevskogo*, 2019. pp. 131-140. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41377854>
7. Grinko A. V., Kulygin V. A. *Vliyaniye norm vyseva semyan pri razlichnykh sposobakh obrabotki na urozhaynost' yarovogo tritikale*. [The effect of seeding under different methods of primary tillage on yield of spring triticale]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018;(2):106-110. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32637648>
8. Denisov E. P., Solodovnikov A. P., Chetverikov F. P., Panasov M. N. *Izmeneniye produktivnosti yarovoy pshenitsy v sukhostepnoy zone Zavolzh'ya pod vliyaniem abioticheskikh faktorov*. [Change of efficiency of a spring-sown field in a dry-steppe zone of Zavolzhye under the influence of abiotic factors]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova*. = The Bulletin of Saratov State Agrarian University in honor of N. I. Vavilov 2013;(7):23-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19419184>
9. Kukovskoy A. S., Narushev V. B. *Sovershenstvovaniye tekhnologii vozdeleyaniya yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh narastaniya zasushlivosti klimata*. [Technological advancement of spring wheat cultivation in the conditions of increasing arid climate]. *Nauchnaya zhizn'*. 2016;(4):67-76. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26145778>
10. Nasiev B. N., Mukhataev N. A. *Vliyaniye pitatel'nogo rezhima i normy vyseva semyan na urozhaynost' sortov yarovoy pshenitsy*. [The influence of the nutritional regime and the seeding rate on the yield of spring wheat varieties]. *Pochvovedeniye i agrokhimiya*. 2009;(2):59-65. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42437847>
11. Voshedskiy N. N., Grinko A. V. *Vyrashchivaniye yarovoy tverдой pshenitsy v usloviyakh Rostovskoy oblasti*. [Spring durum wheat cultivation under the conditions of Rostov region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;(3 (59)):23-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26454950>
12. Kuznetsov D. A. *Vliyaniye mineral'nykh udobreniy i norm vyseva na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy*. [Influence of mineral fertilizers and seeding rates on the yield and qual of spring wheat grain]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(11):25-29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.v2020i11pp25-29>

Сведения об авторах

✉ **Кузнецов Дмитрий Александрович**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией первичного семеноводства, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5310-5530>

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

Information about the authors

✉ **Dmitriy A. Kuznetsov**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Primary Seed Production, Mordovia Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5310-5530>

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

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние гербицида Магнум на урожайность и качество льнопродукции

© 2021. Т. А. Рожмина✉, А. А. Жученко, Е. Г. Герасимова, И. А. Андреева, А. Д. Смирнова
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Исследование проводили с целью изучения реакции различных генотипов льна на обработку растений гербицидом сульфонилмочевинного класса – Магнум (действующее вещество метсульфурон-метил) и выявления устойчивых форм для использования их в селекционных программах на гербицидоустойчивость. В 2018-2020 гг. выполнена оценка 24 сортов и перспективных линий льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции на устойчивость к данному гербициду, обработку посевов препаратом проводили в рекомендованной норме расхода – 0,01 кг/га в фазу «елочка». Доказано, что применение гербицида Магнум приводит к неравномерности роста растений в период «елочка-цветение», что отрицательно сказывается на урожайности и качестве льноволокна. Снижение основных показателей продуктивности и качества волокна в варианте с применением гербицида по сравнению с контролем в зависимости от генотипа составило: по высоте растений – до 44,4 %, весу технической части – 71,1 %, массе волокна – 74,8 %, «мыкlosti» стебля – 46,3 %, длине элементарного волокна – 27,7 %. Высокий уровень устойчивости (свыше 80 %) к гербициду Магнум по всем анализируемым признакам проявили сорта Атлант (Россия) и Могилевский (Беларусь). Показано, что при обработке растений льна-долгунца гербицидом, как правило, происходит увеличение соцветия за счет снижения технической длины стебля, в результате чего у подавляющего большинства генотипов под действием применения препарата Магнум наблюдалось повышение основных показателей продуктивности – количества коробочек и семян на растении (до 3,2 раза). Исключение составил сорт Вега 2 (Литва), у которого уменьшилось количество коробочек на растении в варианте с обработкой гербицидом по сравнению с контролем в 1,8 раза, а количество семян – в 5,3 раза. Этот сорт оказался также наиболее чувствительным к действию препарата Магнум по всем показателям продуктивности и качества волокна. Полученные результаты согласуются с данными, полученными при обработке различных коллекционных образцов льна-долгунца баковой смесью Магнум + Гербитокс Л + Миура в рекомендованных нормах расхода (0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га).

Ключевые слова: лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.), гербицид, устойчивость, сорт, продуктивность, качество волокна

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рожмина Т. А., Жученко А. А., Герасимова Е. Г., Андреева И. А., Смирнова А. Д. Влияние гербицида Магнум на урожайность и качество льнопродукции. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(6):844-856. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.844-856>

Поступила: 30.08.2021

Принята к публикации: 03.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

The effect of the herbicide Magnum on the yield and quality of flax products

© 2021. Tatyana A. Rozhmina✉, Alexander A. Zhuchenko, Elena G. Gerasimova, Irina A. Andreeva, Anzhela D. Smirnova
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The aim of the research was to study the response of various flax genotypes to the treatment of plants with a sulfonylurea herbicide – Magnum (active ingredient is metsulfuron-methyl) and to identify resistant forms for use in breeding programs for herbicide resistance. In 2018-2020 an assessment of 24 varieties and promising lines of fiber flax of domestic and foreign selection for resistance to this herbicide was carried out, the treatment of crops with the preparation was carried out at the recommended consumption rate of 0.01 kg/ha in the “herringbone” phase. It has been proved that the use of this herbicide leads to uneven plant growth during the “herringbone – flowering” period, which negatively affects the yield and quality of flax fiber. The decrease in the main indicators of the productivity and quality of the fiber in the variant with the use of the herbicide in comparison with the control, depending on the genotype was: in plant height – up to 44.4 %, in the weight of the technical part – 71.1 %, in the fiber mass – 74.8 %, in «myklost» (the ratio of the technical length of stem to its diameter) – 46.3 %, in the length of the elementary fiber – 27.7 %. A high level of resistance (over 80 %) to the herbicide Magnum for all analyzed traits was shown by the varieties Atlant (Russia) and Mogilevsky (Belarus). It was shown that when treating fiber flax plants with the herbicide, as a rule, an increase in inflorescence occurs due to a decrease in the technical length of the stem. It results in rise of the main indicators of seed productivity in most of genotypes under the influence of the Magnum preparation – the number of bolls and

seeds per plant (up to 3.2 times). The exception was the variety Vega 2 (Lithuania), which had a decrease in the number of bolls per plant in the variant with herbicide treatment compared with the control by 1.8 times, and in the number of seeds by 5.3 times. This variety was also the most sensitive to the effect of Magnum in all parameters of productivity and fiber quality. The results are consistent with the data obtained when treating various collection samples of fiber flax with a tank mixture Magnum + Herbitor L + Miura at the recommended consumption rates (0.007 + 0.6 + 1.0 kg(l)/ha).

Keywords: fiber flax (*Linum usitatissimum* L.), herbicide, resistance, variety, productivity, fiber quality

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

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

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

For citation: Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A., Gerasimova E. G., Andreeva I. A., Smirnova A. D. The effect of the herbicide Magnum on the yield and quality of flax products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):844-856. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.844-856>

Received: 30.08.2021

Accepted for publication: 03.11.2021

Published online: 15.12.2021

В настоящее время в льняном сырье нуждаются – текстильная, медицинская, химическая, пищевая промышленность, оборонный комплекс и другие отрасли народного хозяйства. В связи с этим необходимо наращивание производства конкурентоспособной льнопродукции, удовлетворяющей стратегические потребности государства. Прогнозируемая потребность в волокнистом льносырье составляет свыше 350 тонн в год, при фактическом ежегодном объеме валового производства на уровне 40-45 тыс. тонн [1]. Низким остается качество волокна – средний номер льнотресты по стране составляет 1,0¹, что сдерживает расширение сфер использования льносырья, а также делает производство культуры низко-рентабельным либо убыточным.

Важная роль в решении проблемы сырьевого обеспечения страны принадлежит селекции, основанной на более полном использовании биологического потенциала культуры. Ярким примером тому является рост урожайности льноволокна в Российской Федерации, которая по сравнению с 90-ми годами прошлого столетия возросла более чем в 2 раза, прежде всего, за счет возделывания в производстве новых более урожайных сортов льна-долгунца. Потенциальная урожайность современных сортов льна-долгунца составляет 20-25 ц/га, номер трепаного (длинного) льноволокна – 12...14 [2]. При этом средняя урожайность льноволокна по Российской Федерации находится на уровне 9,2 ц/га², а номер трепаного льноволокна – 9,6.

Основными причинами, лимитирующими получение высоких и гарантированных урожаев

волокнистой льнопродукции в стране, является усиление влияния неблагоприятных факторов внешней среды (засуха, неравномерность выпадения осадков и др.), пестрота почв по уровню кислотности и несбалансированность ее по содержанию макро- и микроэлементов, повышение распространенности болезней [3, 4]. Для решения данной проблемы, наряду с традиционными методами, в селекции льна-долгунца в последние годы все шире используются молекулярные методы [5, 6, 7, 8].

Другим не менее значимым фактором, сдерживающим рост урожайности и негативно влияющим на качество льноволокна, является низкая культура земледелия, что вызывает необходимость применения гербицидов в полной норме расхода, а также их баковых смесей [9, 10]. К примеру, применение баковой смеси Ленок + Агритокс + Тарга Супер в рекомендованной норме расхода (0,005 + 0,6 + 1,5 кг(л)/га) привело к снижению выхода длинного волокна по сравнению с контролем (вариант без обработки) до 48,9 % [11]. Гербициды оказывают стрессовое воздействие на растения льна не только в период их вегетации, но и отрицательно влияют на состав микрофлоры, участвующей в мацерации льносоломой, что приводит к резкому снижению выхода длинного волокна и его прочности [12].

В борьбе с двудольными сорняками на посевах льна широко применяют гербициды из группы 2М-4Х. Самыми селективными для растений льна-долгунца препаратами из этой группы являются Хвастокс Экстра и Гербитокс-Л. Однако диметиламинные соли 2М-4Х угнетают рост и развитие растений льна,

¹ФГБНУ «Агентство по производству и первичной обработке льна и конопли «Лен» (сайт). Качественные показатели льна-долгунца. [Электронный ресурс]. URL: <http://agentstvo-len.ru/kachestvennye-pokazateli-lna-dolgunca> (дата обращения: 15.08.2021).

²ФГБНУ «Агентство по производству и первичной обработке льна и конопли «Лен» (сайт). Урожайность льноволокна в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://agentstvo-len.ru/urozhaynost-lnovolokna-v-rossiyskoy-federatsii-ts-ga> (дата обращения: 15.08.2021).

снижают техническую длину стебля и выход длинного волокна [13]. Данные гербициды слабо действуют на пикульники, виды горцев, ромашку непахучую, звездчатку среднюю, торицу полевую, виды осотов, подмаренник цепкий. Исследования последнего десятилетия показывают, что эти сорняки практически полностью могут быть уничтожены препаратами сульфонилмочевинного класса – Магнум, Хармони, Секатор, Кортес, Хардин, Ленок. Препарат Лонтрел 300 (ВР) и другие из группы клопиралидов перспективны в борьбе с многолетними двудольными сорняками (например, виды осота), но не уничтожают сорняки из семейства сложноцветных и виды горцев. Поэтому их необходимо применять в баковой смеси с препаратами группы 2М-4Х или сульфонилмочевинами [14].

Для снижения отрицательного воздействия гербицидов на растения в последние десятилетия учеными различных стран проводятся исследования по изучению механизма устойчивости к гербицидам для получения методами генетической инженерии форм, толерантных к гербицидному стрессу. При добавлении всего одного гена растения приобретают устойчивость к тому или иному гербициду [15]. Однако в большинстве стран запрещено использование трансгенных форм льна в производственных посевах, что требует поиска альтернативных путей решения данной проблемы.

Цель исследований – изучение реакции различных генотипов льна на обработку растений гербицидом сульфонилмочевинного класса – Магнум (действующее вещество метесульфурон-метил) и выявление устойчивых форм для использования их в селекционных программах на гербицидоустойчивость.

Новизна исследований заключается в проведении комплексного изучения генетического разнообразия прядильного льна по устойчивости к сульфонилмочевинному гербициду, что позволило, с одной стороны, определить влияние его на урожайные и качественные показатели культуры, а с другой – выявить ценные генотипы для селекции на гербицидоустойчивость. Решение данной проблемы будет способствовать, прежде всего,

повышению качества волоконистой льнопродукции в Российской Федерации.

Материал и методы. Исследования проводили в 2018-2020 гг. на опытном поле Института льна – обособленного подразделения ФГБНУ ФНЦ ЛК. В качестве исходного материала использовали 24 сорта и селекционные линии льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции. Оценку образцов проводили в условиях луночного питомника с площадью питания одного растения 2,5х2,5 см, что соответствует норме высева семян 18 млн шт/га.

Посев и закладку опыта осуществляли в соответствии с методическими указаниями по селекции и семеноводству льна-долгунца³. Количество семян, высеваемых по каждому образцу – 20 шт., повторность в опыте 3-кратная. Варианты опыта: 1 – Без обработки гербицидами (контроль). 2 – Обработка посевов льна препаратом Магнум в рекомендованной норме расхода (0,01 кг/га). 3 – Обработка посевов препаратом Магнум в дозе, превышающей рекомендованную в 5 раз (0,05 кг/га).

Почва опытного поля среднесуглинистая дерново-подзолистая с высоким содержанием фосфора (P_2O_5 – 220 мг/кг) и калия (K_2O – 120 мг/кг), слабокислая ($pH_{\text{сол}}$ 5,2-5,6).

Исследуемые образцы оценивали по основным показателям продуктивности – высоте растений, весу технической части стебля, массе волокна и его содержанию, а также важнейшим косвенным показателям, определяющим качество льноволокна – длину элементарных волокон и «мыклость» стебля. Показатель «мыклость» стебля есть отношение диаметра к технической части стебля. Длину элементарных волокон рассчитывали по формуле С. М. Авиромы⁴. Устойчивость растений льна-долгунца к гербициду Магнум определяли как отношение показателей продуктивности волокна при стрессовых (вариант с обработкой растений гербицидом) и благоприятных условиях (контроль – без обработки), которая выражена в процентах⁵. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы STATISTICA 7.0. Достоверность различий между средними значениями оценивали при 5%-ном уровне значимости по критерию Фишера.

³Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2014. 140 с.

⁴Авиром С. М. Основные требования промышленности к качеству льняного стебля. Научно-исследовательские труды ЦНИИЛВ. М: Государственное научно-техническое издательство легкой промышленности, 1952. Т. 6. С. 23-66.

⁵Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Под ред. Г. В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 227 с.

Результаты и их обсуждение. Для уничтожения двудольных и злаковых сорняков в посевах льна-долгунца в настоящее время льносеющими предприятиями страны широко применяется гербицидная композиция: Магнум + Гербитокс Л + Миура, рекомендуемая норма расхода – 0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га. Вместе с тем, как показали проводимые нами исследования (2008-2010 гг.), при обработке посевов льна-долгунца данной гербицидной композицией наблюдалось

снижение качества волокнистого сырья [16]. Так, в варианте с обработкой этой композицией практически у всех изучаемых образцов номер трепанного льноволокна был низким и находился на уровне – 8...10, в то время как в контроле (без применения гербицидов) 12...14. Аналогичные результаты получены и по признаку «длина элементарного волокна», от величины которого зависит прядильная способность льноволокна (рис., [16]).

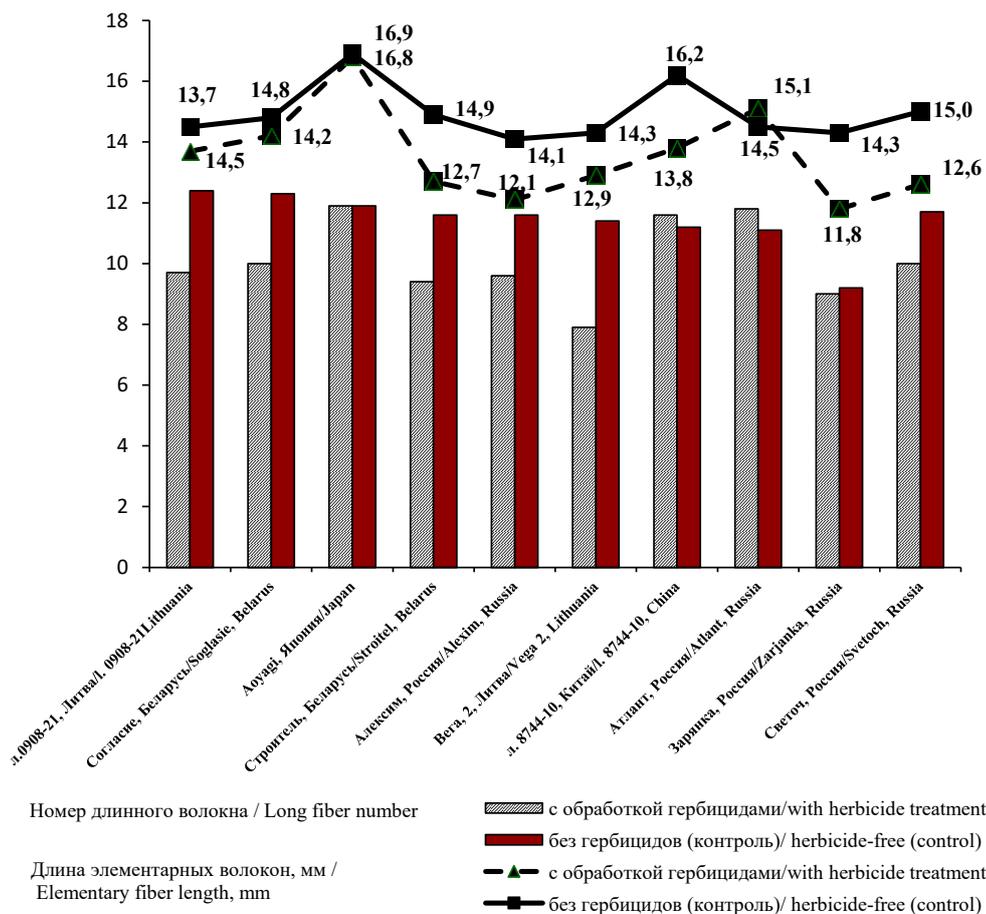


Рис. Влияние гербицидной баковой смеси на качество волокна различных сортов и перспективных линий льна-долгунца (гербицидная баковая смесь Магнум + Гербитокс-Л + Миура (0,007 + 0,6 + 1,0 кг(л)/га)) / Fig. The effect of herbicide tank mixture on the quality of fiber of various varieties and promising lines of fiber flax (herbicide tank mixture Magnum + Herbitox-L + Miura (0.007 + 0.6 + 1.0 kg(ltr.) / ha))

Из исследованных генотипов льна-долгунца исключение составили сорт отечественной селекции Атлант, включенный в Госреестр РФ с 2021 г., и сорт Аюуаги (к-4116) из Японии, которые проявили высокие показатели качества льноволокна как в контроле, так и варианте с обработкой данной гербицидной композицией. Следует отметить, что эти генотипы отличаются высоким качеством льноволокна.

Для выявления реакции образцов льна на обработку гербицидом Магнум (действующее вещество метилсульфурон-метил) растения обрабатывали препаратом в фазу «елочка» в рекомендованной (0,01 кг/га) и повышенной (0,05 кг/га) нормах расхода. Как видно из данных таблицы 1, в вариантах с обработкой посевов льна-долгунца препаратом Магнум в рекомендованной и повышенной дозах наблюдается снижение количества нормально

развитых растений перед уборкой по сравнению с контролем. В варианте 2 (рекомендованная норма расхода) количество нормально развитых растений в зависимости от генотипа

снизилось по сравнению с контролем (без обработки) на 9,2 (сорт Аоуаги) ... 42,3 % (V-8744-10), в варианте 3 (повышенная норма расхода) – на 59,2...67,5 % соответственно.

Таблица 1 – Влияние гербицида Магнум при разных нормах расхода на высоту растений в период «елочка»-цветение и их выживаемость (2018) /

Table 1– The effect of the herbicide Magnum at different consumption rates on plant height during the «herringbone-flowering» period and on the plant survival, 2018

Название, происхождение образца / Name, origin of the sample	Вариант – норма расхода гербицида, кг/га / Variant – herbicide consumption rate, kg/ha	Динамика высоты растений в процессе онтогенеза, см / Dynamics of plant height in the process of ontogenesis, cm				Выживших растений перед уборкой, % / % of plants survived before harvest
		«елочка» / «herringbone» (14.06)	быстрый рост / fast growth (2.07)	бутонизация / budding (12.07)	цветение / flowering (23.07)	
Аоуаги, Япония / Аоуаги, Japan	I – Без обработки (контроль) / I – Without treatment (control)	11	35	64	95	88,2
	II – 0,01	8	24	31...46*	80	79,0
	III – 0,05	4	14	19...36	75	29,0
	Устойчивость, % / Resistance, %					
	II – 0,01	72,7	68,6	48,4...71,9	84,2	-
	III – 0,05	36,4	40,0	29,7...56,3	78,9	-
V-8744-10, Китай / V-8744-10, China	I – Контроль / Control	12	38	71	85	85,6
	II – 0,01	9	21	37...44	70	43,3
	III – 0,05	4	15	21...45	70	18,1
	Устойчивость, % / Resistance, %					
	II – 0,01	75,0	55,3	52,1...62,0	82,4	-
	III – 0,05	33,3	39,5	29,6...63,4	82,4	-
Атлант, Россия / Atlant, Russia	I – Контроль / Control	12	25	43	85	90,8
	II – 0,01	11	22	43	80	73,2
	III – 0,05	6	20	24...43	80	28,8
	Устойчивость, % / Resistance, %					
	II – 0,01	91,7	88,0	100,0	94,1	-
	III – 0,05	50,0	80,0	55,8...100	94,1	-

* Минимальное и максимальное значения признака / * minimum and maximum value of the trait

Наблюдались различия между реакцией генотипов на гербицидный стресс и по динамике роста растений в критический период «елочка»-бутонизация, когда происходит формирование волокна и его качества. У линии V-8744-10 (Китай) отставание в росте в варианте 2 по сравнению с контролем составило до 52,1 %, в то время как у сорта Атлант не превышало 12 %. Следует отметить также равномерность роста растений сорта Атлант в данный период по сравнению с другими генотипами, что важно для формирования качественного волокна. При увеличении дозы

внесения гербицида (вариант 3) отмечалось усиление неравномерности ростовых процессов, которое наиболее отчетливо проявлялось в фазу бутонизации, что позволяет сделать предположение о гетерогенности испытываемых генотипов по данному признаку и, следовательно, возможности отбора устойчивых линий. У сорта Атлант на жестком гербицидном фоне (0,05 кг/га) выявлены растения, которые по высоте не уступали контролю. В период от фазы «цветение» до фазы «ранняя желтая спелость» высота растений у исследуемых генотипов не изменялась. Таким обра-

зом, полученные данные по сорту Атлант при обработке препаратом Магнум в различных дозах согласуются с результатами исследований, полученными при использовании баковой гербицидной композиции Магнум + Гербитокс Л + Миура, что указывает на стабильность данного генотипа по исследуемым показателям, определяющим, прежде всего, качество льноволокна.

Для дальнейшей оценки влияния гербицида Магнум на основные показатели продуктивности и качества волокна была использована расширенная выборка, включающая 24 сорта и селекционные линии льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции. Оценка реакции образцов льна на обработку гербицидом в рекомендованной норме расхода указывает на повышение вариабельности всех исследуемых признаков продуктивности у подавляющего большинства генотипов по сравнению с контролем (табл. 2).

Наиболее вариабельными признаками у льна-долгунца являются «вес технической части стебля» и «масса волокна», которые в контроле имели значения, не превышающие 27,1 и 26,6 % соответственно, а в варианте с обработкой гербицидом коэффициент вариации у образцов V-8744-10, Alizee, Универсал и Вега 2 находился в диапазоне от 43,4 до 68,3 %.

Из исследуемых образцов высокую устойчивость к препарату Магнум проявили сорта Атлант, Светоч (Россия), Могилевский, E-68 (Беларусь), Marina (Голландия), Nike (Польша), Aoyagi (Япония), уровень устойчивости по всем показателям продуктивности волокна – высоте растений, весу технической части стебля и массе волокна получили свыше 80 %. Наиболее чувствительную реакцию к гербицидному стрессу проявил сорт Вега 2 (Литва), у которого высота растений по сравнению с контролем снизилась на 43,4 %, вес технической части – 71,1 и масса волокна – 74,8 %. Неустойчивыми к гербицидному стрессу оказались сорта льна-долгунца – Цезарь, Универсал, Дипломат (Россия), Оршанский 2, Строитель (Беларусь), V-8744-10 (Китай), уровень устойчивости по весу технической части стебля составил 49,8; 51,1; 68,0; 58,7; 73,6; 74,6 % и массе волокна – 48,2; 47,9; 60,9; 58,7; 68,1; 65,9 % соответственно.

В варианте с обработкой гербицидами у подавляющего большинства образцов наблюдалось существенное снижение показателя

«содержание волокна в стебле». При этом, как показывает анализ представленных данных, снижение содержания волокна в стебле не всегда приводит к снижению массы волокна. Наиболее стабильную реакцию по признаку «содержание волокна в стебле» проявили сорта Атлант, Цезарь, AP 5, Тост (Россия), Alizee (Франция), Marina (Голландия), V-8744-10 (Китай), Nike (Польша), Лира, Пралеска, Строитель, Белита и Оршанский 2 (Беларусь), у которых изменение данного показателя было незначительным и составило менее 2,0 абс. процентов.

Основными признаками, определяющими продуктивность льносемян, являются количество коробочек и семян на растении, которые характеризуются высокой вариабельностью. В варианте с обработкой гербицидами вариабельность данных признаков возрастала. По признаку «количество семян с 1 растения» у 58,3 % образцов вариабельность составила от 40,8 до 95,4 %. У ряда изучаемых образцов (Светоч, Тост, Цезарь, AP 5, AP 7, Россия; Marylin, Marina, Голландия; Aoyagi, Япония; China 1, Китай; Nike, Польша; Пралеска, E-68, Беларусь) отмечалось 1,5...3,0-кратное увеличение количества коробочек и/или семян на растении в варианте с обработкой растений препаратом Магнум по сравнению с контролем (табл. 3).

Следует отметить, что у наиболее неустойчивого по показателям продуктивности льноволокна сорта Вега 2 (Литва) отмечалось 4-кратное снижение количества льносемян на 1 растении в варианте с обработкой по сравнению с контролем. Как показывает анализ экспериментальных данных, в варианте с обработкой гербицидом происходило снижение не только высоты растений, но и в большей мере технической части стебля, в результате чего увеличивается длина соцветия, что и приводит к увеличению количества коробочек и соответственно числа семян на 1 растении.

Важнейшими косвенными показателями, определяющими качество льноволокна, являются «мыклость» стебля и средняя длина элементарных волокон. Чем выше данные показатели, тем ниже обрывность пряжи и выше качество льноволокна [16]. В варианте без обработки (контроль) длина элементарных волокон у исследуемых образцов льна-долгунца находилась в диапазоне 14,74 (Пралеска)...17,80 (V-8744-10) мм, а «мыклость» стебля – 472,4 (Пралеска)...762,3 (V-8744-10).

Таблица 2 – Влияние гербицида Магнум на продуктивность волокна у различных генотипов льна-долгуна (2018-2020) /
Table 2 – The effect of the herbicide Magnum on fiber productivity in different genotypes of fiber flax (2018-2020)

Название, происхождение образца / Name, origin of the sample	Вариант / Variant	Высота растений, см / Plant height, cm	Устойчивость, % / Resistance, %	CV, %	Вес технической части стебля, мг / Weight of the technical part of the stem, mg	Устойчивость, % / Resistance, %	CV, %	Масса волокна растения, мг / Fiber mass of plant, mg	Устойчивость, % / Resistance, %	CV, %	Содержание волокна в стебле, % / Fiber content in the stem, %	
											7	8
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	I	92,6	88,6	2,7	467,7	81,1	14,1	94,4	84,4	10,5	20,3	
Атлант, Россия / Atlant, Russia	II	82,0	98,7	2,4	379,3	127,5	7,9	79,7	94,1	9,7	21,0	
	I	79,6	81,1	5,3	348,0	92,9	16,8	117,3	73,3	16,9	33,8	
Могилёвский, Беларусь / Mogilevsky, Belarus	II	78,6	83,6	3,5	443,6	109,8	31,7	110,4	95,1	24,9	25,5	
	I	79,7	72,4	2,6	391,0	96,5	11,2	131,8	75,2	7,6	33,8	
Marylin, Голландия / Marylin, Holland	II	64,6	69,6	7,8	363,4	74,6	26,9	96,6	65,9	30,1	26,4	
	I	87,3	81,9	3,5	368,0	89,3	17,2	88,0	76,9	16,2	24,0	
Аоуаги, Япония / Аоуаги, Japan	II	73,0	66,2	10,7	404,3	103,5	30,7	83,7	108,3	32,9	20,6	
	I	90,9	84,6	3,4	440,6	81,0	22,1	102,6	79,3	17,6	23,5	
China 1, Китай / China 1, China	II	65,8	87,1	10,1	425,2	81,0	25,5	77,2	75,2	23,6	18,5	
	I	99,7	69,6	3,8	453,8	74,6	26,2	89,1	65,9	25,0	19,8	
V-8744-10, Китай / V-8744-10, China	II	69,3	81,9	10,8	338,7	79,1	50,3	58,7	65,9	43,4	17,8	
	I	86,4	74,5	3,2	474,5	89,3	13,6	144,8	76,9	13,1	30,6	
Alizee, Франция / Alizee, France	II	70,80	66,2	12,2	375,4	89,3	52,1	111,4	68,1	44,6	30,6	
	I	90,2	87,1	3,2	430,2	51,1	18,4	129,1	47,9	16,2	30,2	
Тост 3, Россия / Tost 3, Russia	II	67,2	84,6	5,3	384,0	103,5	34,9	88,0	108,3	41,1	22,5	
	I	87,6	87,1	2,5	460,6	81,0	14,9	121,0	79,3	23,9	27,0	
Универсал, Россия / Universal, Russia	II	58,0	87,1	21,9	235,0	81,0	53,6	58,0	47,9	68,3	23,6	
	I	81,2	84,6	8,6	342,6	103,5	27,1	96,0	108,3	26,6	28,1	
Nike, Польша / Nike, Poland	II	70,8	84,6	10,3	354,5	81,0	27,0	104,0	79,3	19,7	29,8	
	I	73,6	84,6	5,7	352,4	81,0	21,8	95,3	79,3	20,9	27,2	
Пралеска, Беларусь / Pralska, Belarus	II	62,2	84,6	8,6	285,1	81,0	22,6	75,6	79,3	19,9	26,9	

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E-68, Беларусь / E-68, Belarus	I	85,5	80,9	3,4	412,0	97,0	17,4	127,9	80,5	17,1	31,2
	II	69,2		9,7	399,8		33,0	102,9		30,2	25,9
Строитель, Беларусь / Stroitel, Belarus	I	92,5	78,3	4,1	474,9	73,6	21,2	134,6	68,1	15,9	28,7
	II	72,4		7,9	349,7		29,6	91,7		25,7	26,6
Светоч, Россия / Svetoch, Russia	I	73,6	98,3	6,7	263,9	125,6	23,8	72,0	110,8	12,6	28,01
	II	72,1		6,2	331,5		28,3	65,0		26,7	19,8
AP 5, Россия / AR 5, Russia	I	83,6	85,6	2,8	382,8	83,8	19,6	128,5	76,8	15,9	33,8
	II	71,6		7,5	320,9		33,2	98,7		27,0	33,7
Тост, Россия / Tost, Russia	I	72,8	84,6	4,1	312,5	77,2	19,8	83,4	72,2	18,4	26,8
	II	61,6		4,3	241,2		16,6	60,2		17,6	25,0
Цезарь, Россия / Zesar, Russia	I	90,2	67,0	2,8	454,0	49,8	11,7	128,7	48,2	11,7	28,4
	II	60,9		8,7	226,0		29,7	62,0		30,1	27,5
Magina, Голландия / Magina, Holland	I	76,2	85,3	3,6	338,7	88,8	14,9	80,7	85,8	22,3	24,5
	II	65,0		6,6	300,8		20,0	71,4		15,6	23,9
AP 7, Россия / AR 7, Russia	I	81,6	79,0	5,2	422,2	78,4	18,5	110,7	68,4	20,6	26,3
	II	64,7		9,3	330,9		20,9	75,7		21,2	23,1
Ли́ра, Беларусь / Lira, Belarus	I	87,6	77,3	4,4	415,1	67,1	15,0	127,8	68,1	12,7	30,9
	II	67,8		5,3	278,6		28,8	87,0		24,7	31,5
Белита, Беларусь / Belita, Belarus	I	89,2	78,6	3,1	515,0	78,2	12,6	158,9	75,1	12,6	30,9
	II	70,1		8,1	402,9		20,7	119,4		23,1	29,6
Оршанский 2, Беларусь / Orshanskiy 2, Belarus	I	81,9	68,8	4,3	335,3	58,7	17,0	67,1	58,7	16,2	20,1
	II	56,4		9,0	197,0		20,2	39,4		22,5	20,0
Дипломат, Россия / Diplomat, Russia	I	77,9	80,1	5,2	393,4	68,0	20,1	122,5	60,9	15,7	31,4
	II	62,4		7,6	267,7		23,4	74,6		18,5	28,2
Вега 2, Литва / Vega 2, Lithuania	I	83,6	55,6	4,0	429,7	28,9	23,1	107,2	25,2	18,2	25,2
	II	46,5		16,7	124,0		49,0	27,0		47,1	21,9

Примечания: вариант I – без обработки (контроль), вариант II – обработка гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га /
Notes: variant I – without treatment (control), variant II – treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 3 – Влияние гербицида Магнум на продуктивность семян у различных генотипов льна-долгунца (2018-2020 гг.) / Table 3 – The effect of the herbicide Magnum on seed productivity in various genotypes of fiber flax (2018-2020)

Название образца / Name of the sample	Вариант / Variant	Длина соцветия, см / Inflorescence length, cm	± к контролю, см / ± to control, cm	CV, %	Кол-во коробочек на 1 растении, шт. / Bolls per plant, pcs	± к контролю, шт. / ± to control, pcs	CV, %	Кол-во семян на 1 растении, шт. / Seed from a plant, pcs.	± к контролю, шт. / ± to control, pcs	CV, %
Атлант / Atlant	I	11,5	-1,2	17,9	4,4	-1,0	21,9	34,9	-7,6	28,7
	II	10,3		14,8	3,4		33,3	27,3		15,7
Могилёвский / Mogilevsky	I	10,5	+3,5	11,2	3,3	+0,8	14,6	26,1	+4,5	11,9
	II	14,0		36,7	4,1		35,3	30,6		38,5
Marylin	I	10,4	+6,0	10,3	3,1	+2,5	18,3	22,8	+3,2	23,4
	II	16,4		17,2	5,6		34,2	26,0		57,0
Аоуаги	I	10,8	+7,5	26,8	3,2	+4,5	19,8	21,3	+12,4	34,9
	II	18,3		25,8	7,7		41,9	33,7		63,7
China 1	I	14,3	+1,5	33,6	4,2	+3,8	33,3	26,0	+3,0	59,9
	II	12,8		21,7	8,0		47,6	29,0		65,7
V-8744-10	I	7,8	-0,1	16,7	2,8	-0,1	39,3	15,0	10,7	62,2
	II	7,7		7,5	2,7		21,7	4,3		95,4
Alizee	I	9,2	+0,2	19,0	3,2	-0,4	32,3	24,7	-10,5	28,5
	II	9,4		59,5	2,8		58,7	14,2		56,9
Тост 3 / Tost 3	I	10,8	+6,0	23,4	3,4	+2,6	31,6	25,2	+4,6	36,0
	II	16,8		30,2	6,0		56,5	29,8		75,2
Универсал / Universal	I	10,7	+7,3	13,2	3,6	-0,4	19,4	24,4	-0,9	34,4
	II	18,0		7,9	4,0		70,7	23,5		69,2
Nike	I	8,9	+4,6	32,4	3,1	+0,9	28,3	15,6	+14,9	37,4
	II	13,5		24,6	4,0		28,9	30,5		37,1
Пралеска / Praleska	I	12,7	+4,8	22,3	3,6	+1,4	31,8	23,7	+11,8	46,1
	II	17,5		21,1	5,0		26,7	35,5		34,8
E-68	I	9,3	+6,1	15,3	3,4	+2,3	24,8	19,6	+18,4	35,5
	II	15,4		30,2	6,7		60,9	38,0		65,0
Строитель / Stroitel	I	9,4	+3,8	19,7	3,3	+1,0	27,3	21,0	+3,3	37,8
	II	13,2		25,5	4,3		26,9	24,3		39,9
Светоч / Svetoch	I	7,0	+10,3	21,6	2,4	+5,1	21,8	14,9	+42,0	52,3
	II	17,3		15,9	7,5		35,1	56,9		40,8
AP 5 / AR 5	I	10,1	+5,4	8,7	3,2	+1,6	24,7	23,6	+8,0	31,5
	II	15,5		33,9	4,8		44,8	31,6		47,5
Тост / Tost	I	10,3	+7,6	15,9	3,3	+1,9	24,9	21,4	+10,2	25,9
	II	17,9		22,7	5,2		33,7	31,6		43,7
Цезарь / Zesar	I	10,1	+2,8	18,1	3,0	+1,3	33,3	19,0	+13,8	44,4
	II	12,9		24,7	4,3		43,1	32,8		42,2
Marina	I	9,2	+8,2	13,0	2,4	+3,0	21,6	15,0	+29,2	35,6
	II	17,4		41,4	5,4		38,4	44,2		37,8
AP 7 / AR 7	I	9,8	+5,8	14,3	3,6	+2,5	19,4	29,2	+13,9	26,9
	II	15,6		15,7	6,1		41,4	43,1		57,3
Ли́ра / Liga	I	9,0	+2,8	26,7	3,0	+0,6	27,2	21,6	+4,6	27,3
	II	11,8		15,2	3,6		15,2	26,2		15,8
Белита / Belita	I	10,5	+4,9	18,6	2,8	+0,9	28,2	21,2	+4,0	26,0
	II	15,4		18,6	3,7		33,4	25,2		38,5
Оршанский 2 / Orshansky 2	I	11,5	+0,7	13,8	4,7	-0,7	22,5	27,9	-5,3	28,5
	II	12,2		24,9	4,0		35,4	22,6		33,8
Дипломат / Diplomat	I	8,1	+5,0	29,4	2,8	+0,6	36,9	19,0	+3,6	17,2
	II	13,1		33,6	3,4		38,7	22,6		57,8
Вега 2 / Vega 2	I	10,3	-3,3	24,2	3,6	-1,6	32,6	24,0	-19,5	31,2
	II	7,0		40,4	2,0		70,7	4,5		15,7
НСР ₀₅ / LSD ₀₅			3,6			1,3			10,1	

Примечания: вариант I – без обработки (контроль), вариант II – обработка гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га / Notes: variant I – without treatment (control), variant II – treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 4 – Влияние гербицида Магнум на длину элементарных волокон и «мыклость» стебля у различных генотипов льна-долгунца (2018-2020 гг.) /

Table 4 – The effect of the herbicide Magnum on the length of elementary fibers and the «myklost» of the stem in different genotypes of fiber flax(2018-2020)

Название образца / Name of the sample	Вариант / Variant	Длина элементарного волокна, мм / Elementary fiber length, mm	± к контролю, мм / ± to control, mm	«Мыклость» стебля, ед. / «Myklost» of stem, unit	± к контролю, ед. /± to control, unit
Атлант / Atlant	I	16,98±0,53	-1,73	624,2±56,1	-105,3
	II	15,25±0,39		518,9±46,0	
Могилёвский / Mogilevsky	I	15,01±0,55	-0,14	574,7±40,7	-117,5
	II	15,15±0,96		457,2±65,6	
Marylin	I	15,74±0,49	-2,22	560,1±70,4	-208,2
	II	13,52±0,31*		351,9±65,9*	
Aoyagi	I	16,47±0,29	-1,26	661,9±54,6	-191,1
	II	15,21±0,56*		470,8±19,6*	
China 1	I	16,23±0,34	-2,79	605,1±88,8	-234,3
	II	13,44±1,02*		328,8±47,3*	
V-8744-10	I	17,80±0,45	-3,58	762,3±80,6	-253,7
	II	14,22±0,90*		508,6±73,9*	
Alizee	I	15,98±0,26	-0,69	617,6±105,3	-124,9
	II	15,29±0,82		492,7±68,3	
Тост 3 / Tost 3	I	16,14±0,42	-3,13	647,7±51,41	-207,4
	II	13,01±1,08*		371,9±76,9*	
Универсал/ Universal	I	16,04±0,32	-4,45	579,3±46,9	-267,2
	II	11,59±1,73*		312,1±30,0*	
Nike	I	15,45±0,72	-1,71	642,9±100,4	-228,7
	II	13,74±1,64		414,2±92,3*	
Пралеска / Praleska	I	14,74±0,49	-2,17	472,4±40,4	-125,0
	II	12,57±0,87*		347,4±27,8*	
E-68	I	15,87±0,29	-1,9	605,6±59,16	-255,1
	II	13,97±0,97*		350,5±49,66*	
Строитель / Stroitel	I	16,67±0,43	-1,09	647,7±66,29	-212,3
	II	14,78±0,81		435,4±13,0*	
Светоч / Svetoch	I	15,09±0,60	-0,45	642,9±44,7	-214,7
	II	14,64±0,54		428,2±62,0*	
AP 5 / AR 5	I	15,76±0,39	-1,45	598,9±45,0	-159,3
	II	14,31±0,69*		439,6±81,7*	
Тост / Tost	I	14,71±0,56	-1,77	519,2±50,0	-171,3
	II	12,94±0,60*		347,9±67,0*	
Цезарь / Zesar	I	16,41±0,35	-2,98	603,5±58,3	-178,7
	II	13,43±0,91*		424,8±46,3*	
Marina	I	14,80±0,38	-1,21	578,9±61,1	-196,7
	II	13,59±0,67*		382,2±102,5*	
AP 7 / AR 7	I	15,51±0,30	-1,59	555,5±43,0	-187,5
	II	13,92±1,15*		368,0±67,9*	
Лира / Lira	I	16,10±0,62	-2,31	636,4±59,0	-158,0
	II	13,79±1,01*		478,4±49,6*	
Белита / Belita	I	16,29±0,25	-1,86	596,4±42,6	-217,1
	II	14,33±0,71*		379,3±45,6*	
Оршанский 2 / Orshanskiy 2	I	15,45±0,39	-2,56	558,8±51,1	-219,3
	II	12,89±0,79*		339,5±65,1*	
Дипломат / Diplomat	I	15,32±0,53	-1,91	599,4±56,7	-199,0
	II	13,41±0,75*		400,4±106,8*	
Vega 2 / Vega 2	I	15,87±0,35	-3,58	566,6±59,07	-262,6
	II	12,29±0,92*		304,0 ±77,8*	

Примечания: вариант I – без обработки (контроль), вариант II – обработка гербицидом Магнум в дозе 0,01 кг/га;

* – достоверное отклонение от варианта I (контроль) /

Notes: variant I – without treatment (control), variant II – treatment with Magnum herbicide at a dose of 0.01 kg/ha;

* – significant deviation from variant I (control)

Наиболее высоким потенциалом качества льноволокна обладали такие генотипы, как V-8744-10, Атлант, Аоуаги, China 1, Alizee, Универсал, Строитель, Тост 3, Цезарь и Лира. У данных образцов в варианте без обработки гербицидами (контроль) показатели «длина элементарных волокон» достигали более 16 мм и «мыклость» стебля – более 580 ед. В варианте с обработкой гербицидами наблюдалось снижение показателей «длина элементарных волокон» по сравнению с контролем у изучаемых образцов на 0,69 (Alizee) ...4,45 мм (Универсал), «мыклость» стебля – 17,0 (Атлант) ...46,3 % (Вега 2). Наибольшей устойчивостью к гербицидному стрессу отличались сорта Атлант, Могилевский и Alizee, уровень устойчивости по анализируемым качественным параметрам 80 % и выше (табл. 4).

Наиболее чувствительную реакцию на обработку гербицидом проявили сорта Универсал, Вега 2 и Тост 3. Снижение величины признаков «длина элементарных волокон» составило 4,45; 3,58; 3,13 мм, «мыклость стебля» – 46,1; 46,3; 42,6 % соответственно. У образца V-8744-10 показатель «длина элементарного волокна» снизился на 3,58 мм, «мыклость» стебля – 33,3 %, что указывает на средний уровень устойчивости и согласуется с данными по сравнительной оценке динамики роста растений у этого генотипа в вариантах с обработкой гербицидом Магнум и контроле.

Выводы. Исследована реакция 24 сортов и перспективных линий льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции на обработку в фазу «елочка» гербицидом Магнум. В результате чего установлено, что препарат Магнум (действующее вещество метсульфурон-метил) в рекомендованной норме расхода (0,01 кг/га) оказал негативное влияние на продуктивность и качество льноволокна у подавляющего большинства изучаемых генотипов. Впервые выявлена генотипспецифичность у льна-долгунца в отношении данного стрессового фактора. Наиболее чувствительным оказался сорт Вега 2, снижение показателей продуктивности и качества волокна – высоты растений, веса технической части стебля, массы волокна, «мыклости» стебля и длины элементарного волокна при применении гербицида по сравнению с контролем у данного сорта составило – 44,4; 50,0; 74,8; 46,3; 22,6 % соответственно. Высокий уровень устойчивости (свыше 80 %) к гербициду проявили сорта Атлант и Могилевский. Следует отметить, что существенное отрицательное влияние гербицида на семенную продуктивность наблюдалось лишь у единичных образцов льна-долгунца (V-87-44-10, Alizee, Вега 2). Полученные результаты указывают на перспективность селекции льна-долгунца на гербицидоустойчивость.

Список литературы

1. Рожмина Т. А., Понажев В. П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России. Вестник РАЕН. 2015;5(1):59-63. Режим доступа: <https://raen.info/publisher/vestnik/2015/nomer-1.html>
2. Степин А. Д., Рысев М. Н., Кострова Г. А., Рысева Т. 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>
3. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Кудрявцев Н. А., Ущиповский И. В., Попов Р. А., Скворцов С. С. Влияние факторов окружающей среды на качество льносырья. Вестник аграрной науки. 2020;(5 (86)):3-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44094127>
4. Прудников В. А. Реакция культуры льна-долгунца на плодородие почвы. Земледелие и защита растений. 2017;(S4):21-23.
5. Ricachenevsky F. K., Menguer P. K., Sperotto R. A., Fett J. P. Got to hide your Zn away: molecular control of Zn accumulation and biotechnological applications. Plant Sci. 2015;236:1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.03.009>
6. Sinclair S. A., Kramer U. The zinc homeostasis network of land plants. Biochim Biophys Acta. 2012;1823(9):1553–1567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.05.016>
7. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and salinealkaline stresses. BMC Plant Biol. 2016;16:124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>
8. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaia O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. Biochimie. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>

9. Захарова Л. М. Баковые смеси гербицидов в посевах льна. Защита и карантин растений. 2014;(4):20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21302993>
10. Mańkowski J., Pudelko K., Kołodziej J., Karaś T. Effect of herbicides on yield and quality of straw and homomorphic fibre in flax (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products. 2015;70:185-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.035>
11. Захарова Л. М. Влияние гербицидов на урожайность и качество льнопродукции. Защита и карантин растений. 2007;(4):26-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13287068>
12. Аврова Н. П. Применение гербицидов и десикантов ухудшает качество льносырья в процессе выделения волокна. Итоги и перспективы развития селекции, семеноводства, совершенствования технологии возделывания и первичной переработки льна-долгунца: мат-лы Междунар. конф. Торжок, 2000. С.127-129.
13. Захарова Л. М., Кудрявцев Н. А. Технология защиты посевов льна-долгунца. Защита и карантин растений. 2010;(5):25-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14307769>
14. Захарова Л. М. Как добиться высокой эффективности химпрополки посевов льна. Защита и карантин растений. 2016;(3):23-24. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25606576>
15. Millam S., Obert B., Pretova A. Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum*, Plant Cell Tiss. Org. 2005;82:93-103. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-004-6961-6>
16. Рожмина Т. А., Мельникова Н. В., Головлев М. Г., Смирнова М. И., Куземин И. А. Скрининг образцов генофонда льна на устойчивость к неблагоприятным факторам. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(10):11-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11002>

References

1. Rozhmina T. A., Ponazhev V. P. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya l'nyanogo sektora Rossii*. [Condition and prospects of development of linen sector of Russia]. *Vestnik RAEN*. 2015;5(1):59-63. (In Russ.). URL: <https://raen.info/publisher/vestnik/2015/nomer-1.html>
2. Stepin A. D., Rysev M. N., Kostrova G. A., Ryseva T. A., Utkina S. V. *Osnovnye napravleniya i rezul'taty nauchnykh issledovaniy Pskovskogo NIU po selektsii l'na-dolguntsa*. [The main directions and results of scientific research of the Pskov Research University for the selection of fiber flax]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(2):14-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>
3. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Kudryavtsev N. A., Ushchapovsky I. V., Popov R. A., Skvortsov S. S. *Vliyanie faktorov okruzhayushchey sredy na kachestvo l'nosyr'ya*. [The influence of environmental factors on the crop and quality of fiber flax]. *Vestnik agrarnoy nauki = Bulletin of Agrarian Science*. 2020;(5 (86)):3-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44094127>
4. Prudnikov V. A. *Reaktsiya kul'tury l'na-dolguntsa na plodorodie pochvy*. [The reaction of fiber flax culture to soil fertility]. *Zemledelie i zashchita rasteniy = Agriculture and Plant Protection*. 2017;(S4):21-23. (In Belarus).
5. Ricachenevsky F. K., Menguer P. K., Sperotto R. A., Fett J. P. Got to hide your Zn away: molecular control of Zn accumulation and biotechnological applications. *Plant Sci*. 2015;236:1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.03.009>
6. Sinclair S. A., Kramer U. The zinc homeostasis network of land plants. *Biochim Biophys Acta*. 2012;1823(9):1553-1567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.05.016>
7. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and salinealkaline stresses. *BMC Plant Biol*. 2016;16:124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>
8. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaia O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. *Biochimie*. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>
9. Zakharova L. M. *Bakovye smesi gerbitsidov v posevakh l'na*. [Tank mixtures of herbicides in flax crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014;(4):20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21302993>
10. Mańkowski J., Pudelko K., Kołodziej J., Karaś T. Effect of herbicides on yield and quality of straw and homomorphic fibre in flax (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products. 2015;70:185-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.035>
11. Zakharova L. M. *Vliyanie gerbitsidov na urozhaynost' i kachestvo l'noпродукtsii*. [The influence of herbicides on the yield and quality of flax products]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2007;(4):26-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13287068>
12. Аврова Н. П. *Primenenie gerbitsidov i desikantov ukhudshaet kachestvo l'nosyr'ya v protsesse vydeleniya volokna*. [The use of herbicides and desiccants worsens the quality of flax raw materials in the process of fiber extraction]. *Itogi i perspektivy razvitiya selektsii, semenovodstva, sovershenstvovaniya tekhnologii vozdelevaniya i pervichnoy pererabotki l'na-dolguntsa: mat-ly Mezhdunar. konf.* [Results and prospects for the development of breeding, seed production, improving the technology of cultivation and primary processing of fiber flax: Proceedings of the International Conference]. Torzhok, 2000. pp.127-129.

13. Zakharova L. M., Kudryavtsev N. A. *Tekhnologiya zashchity posevov l'na-dolguntsa*. [Flax crop protection technology]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2010;(5):25-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14307769>

14. Zakharova L. M. *Kak dobit'sya vysokoy effektivnosti khimpropolki posevov l'na*. [How to achieve high efficiency of chemical weeding of flax crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2016;(3):23-24. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25606576>

15. Millam S., Obert B., Pretova A. Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum*, *Plant Cell Tiss. Org.* 2005;82:93-103. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-004-6961-6>

16. Rozhmina T. A., Mel'nikova N. V., Golovlev M. G., Smirnova M. I., Kuzemin I. A. *Skrining obraztsov genofonda l'na na ustoychivost' k neblagopriyatnym faktoram*. [Screening of samples from flax gene pool for resistance to unfavourable factors]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;32(10):11-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11002>

Сведения об авторах

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

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

Герасимова Елена Георгиевна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Андреева Ирина Александровна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

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

Information about the authors

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

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

Elena G. Gerasimova, senior researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federaton, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

Irina A. Andreeva, junior researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federaton, 172002, e-mail: vnii.sekretar@mail.ru

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

✉ – Для контактов / Corresponding author

Изучение исходного материала лука репчатого в условиях светло-каштановых почв аридной зоны Прикаспия

© 2021. Н. А. Зайцева ✉, И. И. Климова, Е. В. Ячменева, А. С. Дьяков
ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр
Российской академии наук», с. Солёное Займище, Российская Федерация

В условиях Астраханской области изучали сортообразцы лука репчатого различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции «Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» с целью поиска и выделения источников и доноров хозяйственно ценных признаков для селекционной работы. За три года изучения (2017-2019 гг.) оценены 117 образцов лука репчатого, из которых выделено 14 наиболее перспективных сортообразцов по результатам фенологических, морфологических и биометрических наблюдений и учетов. Отобраны продуктивные образцы с урожайностью от 52,3 до 64,1 т/га в условиях светло-каштановых почв из Австралии (*Selfed*), Венгрии (*Zillani*), США (*Red Mom*), Канады (*Nothern*), из них наиболее адаптивными к условиям аридной зоны являются *Nothern*, *Selfed*, *Zillani*, *Red Mom* (коэффициент адаптивности 1,19...1,46). По индексу формы (1,0) выделены образцы: *Vertus* (Дания), *Southport* (Канада), *Zillani* (Венгрия), *Jetset* (Нидерланды), *Encore* (США), Кыргыз (Абхазия). Наиболее ценным исходным материалом для селекции лука репчатого в условиях аридной зоны светло-каштановых почв Астраханской области являются сорта с комплексом хозяйственно ценных признаков: *Selfed* (Австралия), *Zillani* (Венгрия), *Red Mom* (США), *Nothern* (Канада).

Ключевые слова: *Allium cepa* L., сортообразцы, селекционный материал, индекс формы, продуктивность, адаптивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (тема № 0722-2014-0018).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зайцева Н. А., Климова И. И., Ячменева Е. В., Дьяков А. С. Изучение исходного материала лука репчатого в условиях светло-каштановых почв аридной зоны Прикаспия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):857-864. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.857-864>

Поступила: 08.06.2021

Принята к публикации: 03.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

The study of onion source material in the light-brown soils of the Caspian Sea arid zone

© 2021. Nadezhda A. Zaitseva ✉, Irina I. Klimova, Ekaterina V. Yachmeneva, Aleksandr S. Dyakov

Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Solenoje Zajmishhe, Russian Federation

In the conditions of the Astrakhan region there have been studied onion accessions of various ecological and geographical origin from the world collection of the Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. The aim was to search and isolate sources and donors of agronomic traits for breeding work. Over three years of study (2017-2019), 117 onion samples were evaluated, of which 14 most promising accessions were identified based on the results of phenological, morphological and biometric observations and counts. The most productive samples with the yield from 52.3 to 64.1 t/ha in the conditions of the light-brown soils from Australia (*Selfed*), Hungary (*Zillani*), USA (*Red Mom*), Canada (*Nothern*) have been selected. Of these, the most adaptive to the conditions of the arid zone are *Nothern*, *Selfed*, *Zillani*, *Red Mom* (adaptability coefficient 1.19...1.46). According to the index form (1.0), the following specimens were identified: *Vertus* (Denmark), *Southport* (Canada), *Zillani* (Hungary), *Jetset* (Netherlands), *Encore* (USA), Kyrgyz (Abkhazia). Varieties with the complex of agronomic traits are the most valuable source material for onion breeding in the arid zone of light-brown soils of the Astrakhan region: *Selfed* (Australia), *Zillani* (Hungary), *Red Mom* (USA), *Nothern* (Canada).

Keywords: *Allium cepa* L., accessions, breeding material, shape index, productivity, adaptability

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. 0722-2014-0018).

The authors are grateful to reviewers for their contribution to expert assessment of the work.

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

For citations: Zaitseva N. A., Klimova I. I., Yachmeneva E. V., Dyakov A. S. The study of onion source material in the light-brown soils of the Caspian Sea arid zone. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):857-864. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.857-864>

Received: 08.06.2021

Accepted for publication: 03.11.2021

Published online: 15.12.2021

В нашей стране репчатый лук является одной из основных овощных культур. В 2020 г. посевные площади лука репчатого в Российской Федерации составляли 60,6 тыс. га – около 11 % посевной площади овощных культур¹. Лук репчатый является популярной овощной культурой благодаря высокому содержанию в нем витаминов С (2-14 %), В1, В2, РР, сахаров (8-14 %), сухого вещества (до 15 %), белков, минеральных солей, аминокислот, антиоксидантов, фитонцидов, а также возможности использования его в течение всего года.

Урожайность лука в западных странах достигает 46,4...51,7 т/га, а в России не превышает 22,6 т/га [1]. Особым критерием стабилизации получения высококачественного урожая овощных культур является наличие районированного в регионе возделывания сортового разнообразия [2, 3].

Первостепенной целью работы селекционеров лука является выведение сортов и гибридов, отличающихся не только высокой урожайностью, но и способных реализовать свой биологический потенциал в конкретных условиях региона возделывания [4]. Создание сортов и гибридов, отвечающих современным требованиям, многолетний и кропотливый процесс. Он определяется биологическими особенностями культуры в связи с сильным варьированием признаков в зависимости от особенностей грунта, температурного и ветрового режимов [5, 6].

По состоянию на 2019 год в Реестр селекционных достижений, рекомендованных к использованию в Российской Федерации, включены 192 сорта и 189 гибридов F1 лука репчатого². Наиболее ценными являются районированные в регионе возделывания сорта, а также адаптированные к агроклиматическим особенностям конкретного региона сорта народной селекции [7].

Научные исследования по изучению коллекций лука репчатого и выделению перспективных для создания новых сортов и гибридов сортообразцов ведутся постоянно.

Селекционная работа с этой культурой велась А. А. Сединым, С. В. Сибиряткиным, В. В. Пивоваровым (2009) в Крымском селекционном центре «Гавриш», А. И. Юровым, Н. А. Ефимовым (2006), И. В. Тимошенко, Н. В. Гераськиной, А. А. Рубцовым, Н. Н. Степановым (2020) на Бирючукской овощной селекционной опытной станции. Были сформированы банки источников и доноров наиболее важных признаков, созданы новые сорта и гибриды [7, 8, 9]. В Астраханской области, которая занимает 2 место по посевным площадям и валовым сборам лука в России³, таких исследований не проводилось.

Цель исследования – изучить сортообразцы лука репчатого в почвенно-климатических условиях Астраханской области и выделить источники хозяйственно ценных признаков для дальнейшей селекционной работы.

Научная новизна. Впервые в условиях светло-каштановых почв аридной зоны Прикаспия при капельном орошении изучены и выделены адаптированные, высокоурожайные, перспективные по комплексу хозяйственно ценных признаков сортообразцы лука репчатого для дальнейшей селекции.

Материал и методы. Материалом исследования служили 117 сортообразцов репчатого лука различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции «Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР).

Изучение образцов проводили согласно общепринятым методикам⁴ в течение трех лет (2017-2019 гг.). Наблюдали за продолжительностью вегетационного периода и его фаз, давали оценку морфологическим признакам растений лука, определяли величину основных элементов структуры урожая. Адаптивность рассчитывали по методике Л. А. Животкова, З. А. Морозовой, Л. А. Секатуевой и др. посредством деления урожайности отдельных сортообразцов на среднесортную по всей коллекции [10].

¹АБ-Центр – Экспертно-аналитический центр агробизнеса. [Электронный ресурс]. Лук репчатый: площади и сборы в России в 2001-2020 гг. URL: <https://ab-centre.ru/news/luk-repchatyy-ploschadi-i-sbory-v-rossii-v-2001-2020-gg> (дата обращения: 15.02.2021).

²Государственная комиссия по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»). [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения: 10.05.2021).

³URL: <https://ab-centre.ru/news/luk-repchatyy-ploschadi-i-sbory-v-rossii-v-2001-2020-gg>

⁴Изучение и поддержание в живом виде мировой коллекции лука и чеснока: методические указания. В. В. Пережогина [и др.]. Санкт-Петербург: ВИР, 2005. С. 12-32; Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. четвертый. Картофель, овощные и бахчевые культуры. М., 2015. С. 25-28. URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_4.pdf

Опыт закладывали на делянках площадью 1 м² методом рендомизации в четырехкратной повторности⁵. Посев репчатого лука проводили вручную (расчетная густота посева 1 млн семян/га) после подготовки почвы и наступления оптимальных условий теплообеспеченности 21 апреля-3 мая, уборку осуществляли вручную в фазе биологической спелости 22 августа-14 сентября в зависимости от года. Орошение опытного участка проводили с использованием системы капельного полива.

Годы проведения исследований различались по погодным условиям (табл. 1). По количеству осадков за период вегетации лука

выделялся 2017 год – 155,1 мм, что на 32,6 мм больше среднееголетних показателей (122,5 мм). В 2018 году осадков выпало – 107,4 мм, что на 15,1 мм меньше среднееголетних показателей, а 2019 год был на уровне среднееголетних значений.

Сумма активных температур (выше +10 °С) за вегетационный период лука в 2017 году составила 2929,9 °С, в 2018 г. – 3192,5 °С, в 2019 г. – 3100,9 °С. Среднемесячные температуры и относительная влажность воздуха варьировали в зависимости от года исследования (табл. 1).

*Таблица 1 – Метеорологические условия вегетационного периода лука /
Table 1 – Meteorological conditions for the growing season of onions*

<i>Месяц / Month</i>	<i>Год / Year</i>	<i>Средняя температура воздуха, °С / Average air temperature, °C</i>	<i>Осадки, мм / Precipitation, mm</i>	<i>Средняя относительная влажность воздуха, % / Average relative air humidity, %</i>
Апрель / April	2017	10,3	32,5	63
	2018	9,8	14,4	61
	2019	11,3	18,8	69
	<i>Среднееголетнее / Average perennial</i>	<i>11,4</i>	<i>25,2</i>	<i>61</i>
Май / May	2017	16,6	65,8	55
	2018	20,4	0	37
	2019	19,5	8,9	50
	<i>Среднееголетнее / Average perennial</i>	<i>20,1</i>	<i>16,5</i>	<i>50</i>
Июнь / June	2017	21,1	26,5	54
	2018	23,5	11,9	34
	2019	26,9	4,9	32
	<i>Среднееголетнее / Average perennial</i>	<i>25,0</i>	<i>20,2</i>	<i>42</i>
Июль / July	2017	26,4	1,7	42
	2018	27,0	40,3	52
	2019	24,0	58,0	53
	<i>Среднееголетнее / Average perennial</i>	<i>26,9</i>	<i>16,9</i>	<i>41</i>
Август / August	2017	26,6	10,3	38
	2018	24,0	4,4	41
	2019	26,7	10,3	38
	<i>Среднееголетнее / Average perennial</i>	<i>25,6</i>	<i>15,5</i>	<i>43</i>
Сентябрь / September	2017	19,0	18,3	55
	2018	19,3	36,4	51
	2019	20,8	18,3	57
	<i>Среднееголетнее / Average perennial</i>	<i>18,2</i>	<i>28,2</i>	<i>56</i>

⁵Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2014. 351 с.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований из 117 сортообразцов были выделены 14 перспективных по различным морфологическим признакам, таким как положение листьев, их окраска, длина, диаметр и т. д.

Характеристика листовой розетки образцов лука репчатого является важным показателем, так как лист – основной орган фотосинтеза, участвующий в формировании конечного урожая (табл. 2) [11, 12].

Таблица 2 – Характеристика листовой розетки образцов репчатого лука (2017-2019 гг.) /
Table 2 – Characteristics of the leaf rosette of onion samples (2017-2019)

Сортообразец / Variety	Происхождение / Origin	Положение листа* / Leaf position	Окраска листа / Leaf coloring	Восковой налет, балл / Wax plaque, point	Длина листа, см / Leaf length, cm	Диаметр листа, см / Leaf diameter, cm	Общее число листьев, шт. / The total number of leaves, pcs.
Марковский / Markovsky	Украина / Ukraine	3	Зеленая / Green	3	49,1	1,8	6
Red Extra	США / USA	3	Темно-зеленая / Dark green	5	50,7	1,5	6
Кыргыз / Ky'ymy'z	Абхазия / Abkhazia	3		5	47,2	1,6	5
Maravanka	Чехословакия / Czechoslovakia	3		5	51,3	2,2	7
Vertus	Дания / Denmark	5		3	48,7	1,7	6
Алмадон / Almadon	Россия / Russia	5	Зеленая / Green	5	56,3	1,6	6
Southport	Канада / Canada	3	Светло-зеленая / Light green	3	48,6	1,0	6
Selfed	Австралия / Australia	3	Зеленая / Green	5	57,1	2,0	9
Zillani	Венгрия / Hungary	3	Темно-зеленая / Dark green	7	46,4	1,3	6
Jetset	Нидерланды / Netherlands	3	Зеленая / Green	5	49,2	1,0	7
Encore	США / USA	1	Темно-зеленая / Dark green	3	56,3	1,6	8
Spanish white	Канада / Canada	3	Светло-зеленая / Light green	3	54,1	1,0	6
Red Mom	США / USA	3	Темно-зеленая / Dark green	5	53,2	1,4	6
Nothern	Канада / Canada	3		5	55,3	1,3	6

* Положение листа: 1 – прямое; 3 – полупрямое; 5 – загнутое

По положению листьев были выделены сортообразцы с прямым листом, образующие с вертикальной осью угол < 30° – Encore (США); полупрямые, образующие угол 30-50° – Марковский (Украина), Red Extra (США), Кыргыз (Абхазия), Maravanka (Чехословакия), Southport (Канада), Selfed (Австралия), Jetset (Нидерланды), Zillani (Венгрия), Spanish white (Канада), Red Mom (США), Nothern (Канада), и загнутые – Vertus (Дания), Алмадон (Россия).

По интенсивности окраски листьев образцы значительно отличались друг от друга. Зеленую окраску имели сортообразцы – Марковский, Алмадон, Selfed, Jetset, светло-зеленую – Southport, Spanish white и темно-зеленую – Red Extra, Кыргыз, Maravanka, Vertus, Zillani, Encore, Red Mom, Nothern.

Восковой налет на листьях лука способен усиливать защитные свойства растений от болезней, вредителей и повышать засухоустойчивость [13, 14]. В опыте количество воскового налета определялось в баллах. Самый сильный восковой налет отмечали у образца Zillani из Венгрии. Образцы Red Extra (США), Кыргыз (Абхазия), Maravanka (Чехословакия), Selfed (Австралия), Jetset (Нидерланды), Red Mom (США), Nothern (Канада) имели средний восковой налет на листьях. У остальных образцов он был слабым.

Длина листьев у изучаемых образцов репчатого лука варьировала от 46,4 см у Zillani (Венгрия) до 57,1 см у Selfed (Австралия).

По диаметру, согласно методике⁶, лист может быть узким (0,6-1,0 см), средним (1,1-2,0 см) и широким (2,1-3,0 см). Из изучаемых образцов широкими листьями отличался образец Maravanka (Чехословакия) – 2,2 см. Узкими листьями обладали сортообразцы Southport (Канада), Jetset (Нидерланды) и Spanish white (Канада). Остальные сортообразцы имели листья со средним диаметром.

Основная часть изучаемой коллекции обладала малым количеством листьев (5-7 шт.). Выделялись только сортообразцы – Selfed (Австралия) и Encore (США), имеющие 8-9 листьев, что является средним числом листьев.

Проведенная морфологическая и биометрическая оценка луковиц позволила оценить изучаемые образцы по ряду параметров. Окраска сухих чешуйчатых листьев лука является сортовой особенностью и может колебаться от белой до насыщенно фиолетовой. Наиболее распространенными и широко возделываемыми являются сорта и гибриды лука с золотисто-желтой окраской. В нашем опыте золотисто-желтую окраску имели 4 образца, золотисто-желтую с розовым оттенком – 4, у 3 образцов отмечена белая окраска покровных чешуй, у 2 – светло-фиолетовая, у 1 – коричневая (бронзовая) (табл. 3).

Таблица 3 – Морфологическая и биометрическая характеристика луковиц (2017-2019 гг.) / Table 3 – Morphological and biometric characteristics of bulbs (2017-2019)

Сортообразец / Variety	Происхождение / Origin	Окраска луковиц / Color of the bulbs	Толщина шейки, балл / Neck thickness, point	Диаметр луковицы, см / Bulb diameter, cm	Высота луковицы, см / Bulb height, cm	Индекс формы луковицы / Bulb shape index	Форма луковицы / Bulb shape
Марковский / Markovsky	Украина / Ukraine	Золотисто-жёлтая / Golden yellow	5	6,7	5,3	0,8	Округло-плоская / Rounded flat
Red Extra	США / USA	Золотисто-жёлтая с розовым оттенком / Golden yellow with a pink tint	9	5,6	4,8	0,9	
Кыргыз / Kyrgyz	Абхазия / Abkhazia	Золотисто-жёлтая / Golden yellow	7	5,4	5,0	0,9	Округлая / Rounded
Maravanka	Чехословакия / Czechoslovakia	Золотисто-жёлтая с розовым оттенком / Golden yellow with a pink tint	9	7,0	4,7	0,7	Плоская / Flat
Vertus	Дания / Denmark		9	5,9	5,7	1,0	Округлая / Rounded
Алмадон / Almadon	Россия / Russia	Золотисто-жёлтая / Golden yellow	7	6,2	4,8	0,8	Округло-плоская / Rounded flat
Southport	Канада / Canada	Белая / White	5	5,7	5,5	1,0	Округлая / Rounded
Selfed	Австралия / Australia	Золотисто-жёлтая / Golden yellow	7	5,7	6,6	1,2	Овальная / Oval
Zillani	Венгрия / Hungary	Белая / White	5	5,8	5,8	1,0	Округлая / Rounded
Jetset	Нидерланды / Netherlands	Светло-фиолетовая / Light purple	3	6,0	5,8	1,0	
Encore	США / USA		7	5,8	5,9	1,0	
Spanish white	Канада / Canada	Белая / White	5	6,0	5,4	0,9	Округло-плоская / Rounded flat
Red Mom	США / USA	Коричневая (бронзовая) / Brown (bronze)	7	6,0	5,6	0,9	
Nothern	Канада / Canada	Золотисто-жёлтая с розовым оттенком / Golden yellow with a pink tint	7	6,0	5,4	0,9	

⁶Изучение и поддержание в живом виде мировой коллекции лука и чеснока: методические указания. С. 12-32.

Степень вызревания и пригодности луковиц к хранению можно определять по толщине шейки. Наиболее ценными являются сорта и гибриды, имеющие тонкую шейку (0,9-1,1 см). В нашем опыте тонкая шейка была у образца Jetset (Нидерланды). У образцов Red Extra, Maravanka, Vertus отмечалась очень толстая шейка, больше 1,7 см. Остальные образцы имели шейку от 1,2 до 1,7 см.

Индекс формы луковицы определяли отношением её диаметра к высоте. Луковицы по форме делятся на плоские (с индексом 0,7), округло-плоские (0,8-0,9), округлые (1,0), овальные (1,1-1,3), удлинённо-овальные (1,4-2,0) [15]. Для создаваемых сортов и гибридов индекс формы должен соответствовать 1. К таким в нашем опыте относились образцы: Кырмыз (Абхазия), Vertus (Дания), Southport

(Канада), Zillani (Венгрия), Jetset (Нидерланды), Encore (США).

Проводили оценку изучаемых сортообразцов по урожайности и на ее основе рассчитывали коэффициент адаптивности, который показывает приспособленность изучаемого образца к конкретным почвенно-климатическим условиям. Наиболее продуктивными в среднем за годы изучения показали себя образцы – Northern (Канада) и Selfed (Австралия) с урожайностью 63,3...64,1 т/га. Несколько ниже была урожайность у образцов Zillani (Венгрия), Red Mom (США) – 52,3...54,0 т/га (табл. 4). Наиболее адаптивными в нашем исследовании отмечены образцы, у которых коэффициент равен или больше единицы. Это образцы, имеющие наиболее высокую урожайность – Northern, Selfed, Zillani, Red Mom.

*Таблица 4 – Урожайность и адаптивность сортообразцов репчатого лука (среднее за 2017-2019 гг.) /
Table 4 – Productivity and adaptability of onion varieties (average for 2017-2019)*

<i>Сортообразец / Variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>	<i>Урожайность, т/га / Productivity, t/ha</i>	<i>Коэффициент адаптивности / Coefficient of adaptability</i>
Марковский / Markovsky	Украина / Ukraine	43,3	0,99
Red Extra	США / USA	35,0	0,80
Кырмыз / Kurmyz	Абхазия / Abkhazia	32,3	0,74
Maravanka	Чехословакия / Czechoslovakia	21,2	0,48
Vertus	Дания / Denmark	42,9	0,98
Алмадон / Almadon	Россия / Russia	32,6	0,74
Southport	Канада / Canada	37,6	0,86
Selfed	Австралия / Australia	63,3	1,44
Zillani	Венгрия / Hungary	52,3	1,19
Jetset	Нидерланды / Netherlands	42,7	0,97
Encore	США / USA	30,8	0,70
Spanish white	Канада / Canada	42,6	0,97
Red Mom	США / USA	54,0	1,23
Nothern	Канада / Canada	64,1	1,46
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		7,4	-

Выводы. В результате проведенного изучения выделенных 14 образцов лука репчатого по комплексу хозяйственно ценных признаков в качестве исходного материала для дальнейшей селекционной работы могут быть использованы образцы: Selfed (Австра-

лия), Zillani (Венгрия), Red Mom (США), Northern (Канада). Перспективные сортообразцы будут использованы при создании новых сортов и гибридов, адаптированных к условиям светло-каштановых почв аридной зоны Прикаспия.

Список литературы

1. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Калмыкова О. В., Зволинский В. В. Эффективные элементы возделывания репчатого лука при капельном орошении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018;(1):51-58. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37094711>
2. Буренин В. И., Шумилина В. В. Отдаленная гибридизация видов рода *Allium* L. Овощи России. 2016;(1):10-13. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-10-13>
3. Mitchell J. P., Shrestha A., Klonsky K. M., DeMoura R., Turini T. A., Hembree K. J. Onion Growth, Yield, and Production Costs as Affected by Irrigation System. Journal of Crop Improvement. 2014;28(6):871-886. DOI: <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.956917>
4. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы): монография: в 2-х томах. М.: РУДН, 2001. Т. 1. 1489 с.
5. Степанов Н. Н., Огнев В. В., Гераскина Н. В. Ранние гибриды лука для юга России. Картофель и овощи. 2017;(7):27-28. Режим доступа: <http://potatoveg.ru/axivv>
6. Msika R. L., Jackson J. E., Currah L. Selection of onion cultivars for yield, earliness in cropping, and storage potential in Zimbabwe. Acta Hort. 1994;358:235-238. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.358.38>
7. Тимошенко И. В., Гераскина Н. В., Рубцов А. А., Степанов Н. Н. Перспективная селекция лука репчатого на юге России. Картофель и овощи. 2020;(11):30-32. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.56.26.001>
8. Седин А. А., Сибиряткин С. В., Пивоваров В. В. Сорты лука репчатого для юга России. Вестник овощевода. 2009;(3):2-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12969892>
9. Юрлов А. И., Ефимов Н. А. Сорты репчатого лука отечественной селекции для юга России. Картофель и овощи. 2006;(8):17. Режим доступа: <http://potatoveg.ru/axivv>
10. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-6.
11. Давлетбаева О. Р., Ибрагимбеков М. Г., Ховрин А. Н. Оценка коллекции лука репчатого по признакам листовой розетки и луковичы. Овощи России. 2018;(4):29-32. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-29-32>
12. Логунова В. В., Кривенков Л. В., Гуркина Л. К., Гращенкова Н. Н. Селекция лука репчатого на гетерозис. Известия ФНЦО. 2019;(2):45-49. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41559552>
13. Devi S., Gulati R., Tehri K., Poonia A. The pollination biology of onion (*Allium cepa* L.) – a review. Agric. Rev. 2015;36(1):1-13. DOI: <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00001.X>
14. Khosa J. S., McCallum J., Dhatt A. S., Macknight R. C. Enhancing onion breeding using molecular tools. Plant Breeding. 2016;135(1):9-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12330>
15. Середин Т. М., Шумилина В. В., Щербакowa Н. А., Селиверстова А. П. Изучение сортов и гибридов лука репчатого коллекции ВНИИГР в почвенно-климатических условиях Астраханской области. Картофель и овощи. 2020;(2):28-30. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.18.2.006>

References

1. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Kalmykova O. V., Zvolinsky V. V. *Effektivnye elementy vozdelevaniya repchatogo luka pri kapel'nom oroshenii*. [Effective elements of onion cultivation at drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2018;(1):51-58. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37094711>
2. Burenin V. I., Shumilina V. V. *Otdalennaya gibridizatsiya vidov roda Allium L.* [Distant hybridization of plants of *Allium* L.]. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2016;(1):10-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-10-13>
3. Mitchell J. P., Shrestha A., Klonsky K. M., DeMoura R., Turini T. A., Hembree K. J. Onion Growth, Yield, and Production Costs as Affected by Irrigation System. Journal of Crop Improvement. 2014;28(6):871-886. DOI: <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.956917>
4. Zhuchenko A. A. *Adaptivnaya sistema seleksii rasteniy (ekologo-geneticheskie osnovy): monografiya: v 2-kh tomakh*. [Adaptive plant breeding system (ecological and genetic foundations): monograph: in 2 volumes]. Moscow: RUDN, 2001. Vol. 1. 1489 p.
5. Stepanov N. N., Ognev V. V., Geras'kina N. V. *Rannie gibridy luka dlya yuga Rossii*. [Hybrids of onion for early culture in the Rostov region]. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2017;(7):27-28. (In Russ.). URL: <http://potatoveg.ru/axivv>
6. Msika R. L., Jackson J. E., Currah L. Selection of onion cultivars for yield, earliness in cropping, and storage potential in Zimbabwe. Acta Hort. 1994;358:235-238. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.358.38>
7. Timoshenko I. V., Geraskina N. V., Rubtsov A. A., Stepanov N. N. *Perspektivnaya selektsiya luka repchatogo na yuge Rossii*. [Promising selection of onions in the south of Russia]. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2020;(11):30-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.56.26.001>

8. Sedin A. A., Sibiryatkin S. V., Pivovarov V. V. *Sorta luka repchatogo dlya yuga Rossii*. [Onion varieties for the south of Russia]. *Vestnik ovoshchevoda*. 2009;(3):2-7. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12969892>

9. Yurlov A. I., Efimov N. A. *Sorta repchatogo luka otechestvennoy seleksii dlya yuga Rossii*. [Common onion cutbvars domestically produced for south regions of Russia]. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2006;(8):17. (In Russ.). URL: <http://potatoveg.ru/arxivy>

10. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. *Metodika vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu «Urozhaynost'»*. [Methodology for identifying the potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat according to the indicator "Yield"]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1994;(2):3-6. (In Russ.).

11. Davletbaeva O. R., Ibragimbekov M. G., Khovrin A. N. *Otsenka kolleksii luka repchatogo po priznakam listovoy rozetki i lukovitsy*. [Evaluation of a collection of onion on the grounds of a leaf socket and bulb]. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2018;(4):29-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-29-32>

12. Logunova V. V., Krivenkov L. V., Gurkina L. K., Grashchenkova N. N. *Selektsiya luka repchatogo na geterozis*. [Selection of onions for heterosis]. *Izvestiya FNTsO* = News of FSVС. 2019;(2):45-49. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41559552>

13. Devi S., Gulati R., Tehri K., Poonia A. The pollination biology of onion (*Allium cepa* L.) – a review. *Agric. Rev.* 2015;36(1):1-13. DOI: <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00001.X>

14. Khosa J. S., McCallum J., Dhatt A. S., Macknight R. C. Enhancing onion breeding using molecular tools. *Plant Breeding*. 2016;135(1):9-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12330>

15. Seredin T. M., Shumilina V. V., Shcherbakova N. A., Seliverstova A. P. *Izuchenie sortov i gibridov luka repchatogo kolleksii VNIIGR v pochvenno-klimaticheskikh usloviyakh Astrakhanskoy oblasti*. [Studying of cultivars and hybrids of onion the VIR collections in soil climatic conditions of the Astrakhan region]. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2020;(2):28-30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.18.2.006>

Сведения об авторах

✉ **Зайцева Надежда Александровна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, зав. лабораторией селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8227-398X>, e-mail: rexham@rambler.ru

Климова Ирина Ивановна, младший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-3752>

Ячменева Екатерина Васильевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4676-9408>

Дьяков Александр Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», квартал Северный, д. 8, с. Соленое Займище, Астраханская область, Российская Федерация, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-2303>

Information about the authors

✉ **Nadezhda A. Zaitseva**, PhD in Agriculture, researcher, Head of the Laboratory for Selection of Agricultural Crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, v. Solenoe Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8227-398X>, e-mail: rexham@rambler.ru

Irina I. Klimova, junior researcher, the Laboratory for Selection of Agricultural Crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, v. Solenoe Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-3752>

Ekaterina V. Yachmeneva, junior researcher, the Laboratory for Selection of Agricultural Crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, v. Solenoe Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4676-9408>

Aleksandr S. Dyakov, junior researcher, the Laboratory for Selection of Agricultural Crops, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, st. Severny kvartal, 8, v. Solenoe Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation, 416251, e-mail: pniaz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-2303>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Оценка коллекции озимого чеснока по продуктивности и биохимическому составу в условиях Кировской области

© 2021. О. А. Чеглакова , А. В. Денисова, В. М. Мотов

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

В статье представлены результаты изучения коллекции озимого чеснока по комплексу признаков в условиях Кировской области с целью выделения для селекционного процесса перспективных форм с высокой продуктивностью, хорошим биохимическим составом, пригодностью к механизированной посадке при промышленном выращивании. В исследованиях использовали наиболее распространенный способ размножения – посадка зубками. В 2019-2020 гг. изучали 15 сортообразцов озимого чеснока разного эколого-географического происхождения, адаптированных к местным условиям произрастания. Перезимовка всех сортообразцов составила 100 %. Сортообразцы №154, 96, 116, 136, 155 и сорт-стандарт Любовь пригодны для механизированной посадки (масса зубка 5 и более грамм). По урожайности относительно сорта-стандарта Любовь (0,82 кг/м²) выделился сортообразец № 115 (1,02 кг/м²), НСР₀₅ = 0,16 кг/м². Максимальная высота стрелки 122,5 см отмечена у сорта Кировский. По крупности бульбочки выделились сортообразцы №135 и 140, у которых вес 1 бульбочки составил 0,15 г. По биохимическому составу выделены: №155 с сочетанием повышенного содержания сухого вещества (46,24 %) и сахаров (15,82 %), №135 с высоким содержанием аскорбиновой кислоты (13,20 мг%). Комплексом ценных признаков обладал образец №154 с созреванием на 12 суток раньше относительно контроля и других образцов, с наибольшими показателями длины и ширины листа (51,9 и 2,3 см соответственно) и количества чешуй (6 шт.), высокой урожайностью 0,94 кг/м² (на уровне контроля), максимальной средней массой зубка (7 г).

Ключевые слова: чеснок, морфологические признаки, стрелка, бульбочки, дерново-подзолистая почва

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема №0528-2019-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Чеглакова О. А., Денисова А. В., Мотов В. М. Оценка коллекции озимого чеснока по продуктивности и биохимическому составу в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):865-872. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.865-872>

Поступила: 27.09.2021

Принята к публикации: 16.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Assessment of winter garlic collection according to productivity and biochemical composition in the conditions of the Kirov region

© 2021. Oksana A. Cheglakova , Anna V. Denisova, Victor M. Motov

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

The article presents the results of studying the winter garlic collection according to a complex of traits in the conditions of the Kirov region in order to identify for the breeding process promising forms with high productivity, good biochemical composition, suitability for mechanized sowing. During the study, planting with bulblets was used as the most common method of reproduction. In 2019-2020, fifteen varietal samples of winter garlic of different ecological and geographical origin adapted to local growing conditions were studied. Overwintering of all samples was 100 %. Varietal samples No. 154, 96, 116, 136, 155 and the standard variety Lyubov are suitable for mechanized sowing (clove weight is 5 g or more). According to the yield relative to the Lyubov standard variety (0.82 kg/m²), variety sample No. 115 stood out (1.02 kg/m²), LSD₀₅ = 0.16 kg/m². The maximum height of a scape of 122.5 cm was noted in the Kirovsky variety. According to the size of the bulblets, varietal samples No. 135 and 140, having 0.15 g weight of 1 bulbet were distinguished. According to the biochemical composition, the following varietal samples were selected: No. 155 having a combination of an increased content of dry matter (46.24 %) and sugar (15.82 %); No. 135 having a high content of ascorbic acid (13.20 mg%). The sample No. 154 also had a complex of valuable traits: the maturation 12 days earlier relative to the control and other samples; the highest leaf length and width (51.9 and 2.3 cm, respectively); the largest number of scapes (6 pieces); a high yield of 0.94 kg/m² (at the control level); a maximum average clove weight (7 g).

Keywords: garlic, morphological traits, scape, bulblets, sod-podzolic soil

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0007).

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

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

For quotation: Cheglakova O. A., Denisova A. V., Motov V. M. Assessment of the winter garlic collection according to productivity and biochemical composition in the conditions of the Kirov region. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):865-872. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.865-872>

Received: 27.09.2021

Accepted for publication: 16.11.2021

Published online: 15.12.2021

Чеснок (*Allium sativum* L.) – травянистое растение, вид рода Лук семейства Амариллисовые (*Amaryllidaceae*) подсемейства Луковые (*Allioideae*).

Валовое производство чеснока в мире составляет 24,836 млн т, а площадь под чесноком достигла 1,465 млн га. В России площадь под чесноком во всех категориях хозяйств составляет 28,4 тыс. га, а производство – 256,406 тыс. т [1]. По валовому производству чеснока первое место занимает Китай, Россия на четвертом месте [2]. Средняя урожайность чеснока в мире составляет около 16,0 т/га. [3].

Высокие целебные свойства чеснока обусловлены исключительно его богатым химическим составом¹. В луковичах чеснока содержится от 31 до 44 % сухих веществ, в т. ч. 27 % углеводов и около 7 % белков. Листья и молодые стрелки богаты витамином С – до 140 мг/г [4]. Содержание сахаров составляет 3,2 %, крахмала – 2 %, органических кислот – 0,1 %. Витамины в чесноке представлены аскорбиновой кислотой, каротином, тиаминном, рибофлавином и никотиновой кислотой².

Чеснок относится к группе холодостойких растений. Корневая система обладает способностью формироваться при низких положительных температурах (от +2 до +7 °С). Укоренившиеся растения в фазе покоя легко переносят низкую температуру до -28 °С, но легкоуязвимы в период роста [5].

По классификации А. В. Кузнецова, выделяют два подвида чеснока – стрелкующийся и нестрелкующийся³.

Озимые сорта чесноков размножаются вегетативным путем: 1) зубками, 2) однозубковыми луковичками, 3) воздушными луковичками (бульбочки). Важное значение для чеснока озимого имеет способ размножения – с помощью зубков и однозубковых лукович. У однозубковых лукович есть преимущества в темпах роста [6].

При выведении новых сортов, в первую очередь, обращают внимание на их адаптивность к условиям произрастания, которая обеспечивается сочетанием в одном сорте комплекса хозяйственно ценных признаков и свойств. Поэтому оценка коллекционного материала и создание сортов, обладающих в конкретных природно-климатических условиях повышенной урожайностью с высокими качественными показателями, является актуальным направлением исследований.

Цель исследований – изучить коллекцию озимого чеснока по комплексу ценных признаков в условиях Кировской области. Выделить для селекционного процесса перспективные формы с высокой продуктивностью, хорошим биохимическим составом, пригодные к механизированной посадке.

Материал и методы. Коллекцию чеснока изучали в 2019-2020 гг. в полевых условиях на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая: гумус – 1,82 % (по Тюрину, ЦИНАО)⁴, рН_{кол} – 6,68, P₂O₅ > 250 мг, K₂O > 250 мг/кг (по Кирсанову)⁵. Предшественник – чистый пар.

Материалом для исследований служили сорта и сортообразцы фирмы «Агросемтомс», выращенные в Кировской области и переданные в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2019 году.

Погодные условия в период исследований складывались следующим образом: первые заморозки отмечены 30 октября (-2 °С днем, -4 °С ночью), первый снег выпал 17 октября, максимальная высота снежного покрова составила 22 см. Полный сход снега отмечен 14 апреля. В зимний период перепады температур не оказали негативного влияния на развитие и рост растений. Весь исследуемый материал перезимовал со 100%-ной выживаемостью.

Происхождение изучаемых коллекционных образцов представлено в таблице 1.

¹Дьяченко В. С. Овощи и их пищевая ценность. М.: Россельхозиздат, 1979. 159 с.

²Мазнев Н. И. Лекарственные растения: 15000 наименований лекарственных растений, сборов и рецептов. М.: ООО ИКТЦ «Лада», 2006. 1056 с.

³Кузнецов А. В. Чеснок. М.: Сельхозиздат, 1954. 117 с.

⁴ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1992. 8 с. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294828/4294828267.pdf>

⁵ГОСТ 26207-91. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828273.pdf>

*Таблица 1 – Происхождение сортообразцов озимого чеснока /
Table 1 – Origin of winter garlic samples*

<i>№ образца, сорт / Sample number, variety</i>	<i>Происхождение / Origin</i>
Любовь (стандарт) / Lyubov (standard)	Свердловская область / Sverdlovsk region
96	Испания, С. Espanoles / Spain, С. Espanoles
113	г. Йошкар-Ола / Yoshkar-Ola
114	г. Чебоксары / Cheboksary
115	Нижегородская область, Пильненский р-н / Nizhny Novgorod region, Pilnensky district
116	Свердловская область, Нижнетагильский р-н / Sverdlovsk region, Nizhny Tagil district
135	г. Екатеринбург / Ekaterinburg
136	г. Екатеринбург / Ekaterinburg
137	г. Екатеринбург / Ekaterinburg
140	Кировская область, Юрьянский р-н / Kirov region, Yuriyansky district
152	г. Киров / Kirov
153	г. Екатеринбург / Ekaterinburg
154	г. Киров / Kirov
Кировский / Kirovsky	Кировская область / Kirov region
155	Ленинградская область, Приозёрский р-н, п. Сосново / Leningrad region, Priozersky district, st. Sosново

В коллекции 15 сортообразцов чеснока стрелкующейся формы, из которых в качестве стандарта использовали сорт Любовь. Сорт раннеспелый, от входов семян до полегания пера – 78-89 дней. Луковица плоско-округлая, индекс (отношение высота/ширина) – 0,63. Вкус острый. Средняя масса луковицы – 80-93 г. При посадке зубками в луковице образуется 5-7 зубков. Окраска сухих чешуй кремовая, окраска мякоти белая. Содержание сухого вещества – 38,4 %, сахаров – 12,5 %, аскорбиновой кислоты – 14-15 мг%, кислотность – 10,2 мг%. Сорт внесён в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ в 2017 году⁶.

Посадка произведена зубками 30 сентября. Предшественник – чистый пар. Глубина заделки 7,0 см. Схема посадки 30x12. Повторность 4-кратная. Даты уборки 18.07.-1.08.2020 г.

В период вегетации проводили фенологические наблюдения и изучали морфологические признаки (высота стрелки растения, длина и ширина листа, количество и масса воздушных луковичек, урожайность) в соответствии с методическими указаниями⁷.

Определение биохимических показателей луковиц на содержание сухого вещества⁸, сахаров (по Бертрану⁹), витамина С и кислотности (по Плешкову¹⁰) проводили в аналитической лаборатории ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Статистическая обработка данных выполнена по Б. А. Доспехову¹¹.

⁶Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ. Т. 1. Сорты растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 719 с.

URL: <https://ogorodum.ru/docs/gosreestr-rus.pdf>

⁷Методические указания по селекции луковых культур. ВАСХНИЛ, ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур. Сост. И. И. Ершов, А. А. Воробьева. М.: ВАСХНИЛ, 1989. 64 с.

⁸ГОСТ 33977-2016. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2017. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293746/4293746554.pdf>

⁹ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения сахаров. М.: Стандартинформ, 2010. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294821/4294821427.pdf>

¹⁰ГОСТ 25555.0-82. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. М.: Стандартинформ, 2010. 4 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828899.pdf>

¹¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5-изд. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Результаты и их обсуждение. При оценке коллекционных сортов образцов овощных культур большое значение имеет характеристика их по продолжительности вегетационного периода. Длина вегетационного периода определяется генотипом сорта, условиями

года, а также морфологической выравненностью и вызреваемостью – все эти факторы в той или иной степени влияют на качество и лежкость луковиц [7]. Всходы у 11 сортов образцов озимого чеснока отмечены 20 апреля, у 4 – 2 мая (табл. 2).

**Таблица 2 – Результаты фенологических наблюдений по сортам образцам озимого чеснока (2020 г.) /
Table 2 – Results of phenological observations by winter garlic samples (2020)**

<i>№ образца, сорт / Sample number, variety</i>	<i>Дата всходов / Seedlings date</i>	<i>Дата появления стрелки / Scape appearance date</i>	<i>Дата уборки / Harvesting date</i>	<i>Количество суток от всходов до уборки / Number of days from seedlings to harvesting</i>
Любовь (стандарт) / Lyubov (standard)	20.04	22.06	01.08	103
96	20.04	06.07	18.07	90
113	20.04	06.07	01.08	103
114	20.04	22.06	01.08	103
115	20.04	22.06	01.08	103
116	20.04	22.06	01.08	103
135	20.04	22.06	01.08	103
136	02.05	06.07	01.08	91
137	20.04	22.06	01.08	103
140	02.05	22.06	01.08	91
152	20.04	22.06	01.08	103
153	20.04	06.07	01.08	103
154	02.05	06.07	01.08	91
Кировский / Kirovsky	20.04	06.07	01.08	103
155	02.05	06.07	01.08	91

Продолжительность вегетационного периода озимого чеснока от всходов до уборки в наших исследованиях составила от 90 до 103 суток. Сорта образцы №96, №136, №140, №154 и №155 созрели раньше на 12-13 суток, что свидетельствует об их скороспелости. Все остальные сорта образцы по срокам созревания были на уровне стандарта – 103 суток.

Наблюдали различия по высоте стрелки в исследуемых сортах образцах, средний показатель составил 90,7 см. Стрелка максимальной высоты 122,5 см получена у сорта Кировский.

Длина и ширина листа также относятся к морфологическим признакам и оказывают влияние на фотосинтез и, следовательно, на развитие луковицы. По длине и ширине листа выделился сорт образец № 154 (51,9 и 2,3 см соответственно (табл. 3)). Остальные сорта образцы по этим параметрам находились примерно на одном уровне: длина листа – 46,0...51,0 см, ширина – 1,3...2,2 см, у сорта стандарта – 48,0 и 2,15 см соответственно.

Признак «длина листа» имеет сильную и среднюю корреляционную связь с основными

признаками продуктивности, а «ширина листа» – косвенную [8]. Чем больше листовая аппарат, тем большее количество питательных веществ накапливает растение и тем больше вырастет луковица.

Не менее важным признаком является «количество чешуй» – влияет на хранение луковиц (защита от усыхания), максимальное количество чешуй (6 шт.) из исследуемых сортов образцов имели №135 и №154.

Для увеличения коэффициента размножения, а также обновления и оздоровления посадочного материала используют воздушные луковицы – бульбочки. В зависимости от сорта образца количество бульбочек было различным. Максимальный вес бульбочки получен у сортов образцов под №№ 135 и 140, вес 1 бульбочки составил 0,15 грамма.

Масса бульбочки зависит от их количества. У сорта Кировский масса бульбочки составила 0,04 г, количество бульбочек в коробочке – 140 шт., что для данного сорта является сортовым признаком.

Таблица 3 – Результаты оценки сортообразцов озимого чеснока по морфологическим признакам /
Table 3 – Results of assessment of winter garlic initial material according to morphological traits

№ образца, сорт / Sample number, variety	Высота стрелки, см / Scare height, cm	Размер листа, см / Leaf, cm		Размер луковицы, мм / Bulb, mm		Количество чешуй, шт. / Squata number, pcs.	Булбочки / Bulbil	
		длина / length	ширина / width	высота / height	диаметр / diameter		кол-во в коробочке, шт. / number, pcs.	масса 1 шт., г / weight of 1 pcs., g
Любовь (стандарт) / Lyubov (standard)	88,9	48,0	2,15	31	40	5,0	72	0,11
96	89,0	34,0	1,30	30	37	3,0	46	0,13
113	86,8	46,0	1,90	27	33	3,0	81	0,12
114	78,7	46,0	2,40	28	36	5,0	61	0,11
115	87,7	50,0	2,23	28	36	4,0	73	0,10
116	88,3	47,7	2,23	30	38	4,0	58	0,12
135	86,8	46,0	2,18	29	35	6,0	65	0,15
136	65,3	49,3	2,03	29	36	4,0	67	0,10
137	81,8	46,5	1,78	27	31	4,0	71	0,10
140	85,0	44,0	1,68	28	34	3,0	53	0,15
152	98,8	47,1	2,20	30	36	4,0	81	0,11
153	93,8	41,0	2,00	30	34	4,0	93	0,05
154	109,0	51,9	2,33	31	38	6,0	94	0,12
Кировский / Kirovsky	122,5	43,9	1,75	30	34	5,0	140	0,04
155	98,5	51,0	2,10	30	37	5,0	133	0,04

Урожайность – один из важнейших показателей ценности селекционного материала. Уровень её определяется комплексом признаков, например, массой посадочного зубка чеснока, которая оказывает большое влияние на темпы роста растения на протяжении всего периода вегетации [9]. По урожайности среди исследуемых сортообразцов выделились №115 и № 154 (1,02 и 0,94 кг/м² соответственно), однако существенный прирост урожайности относительно стандартного сорта отмечен только у №115 (табл. 4).

Для производителей озимого чеснока одним из важных признаков является количество зубков в луковице. При механизированной посадке, а также для получения крупной товарной луковицы необходимы зубки массой более 5 г. Сортообразец №154 выделился средней массой зубка (7 г) при среднем количестве 6 шт. в луковице и № 153 соответственно 2 г и 9 зубков. У номеров 96, Любовь, 116, 136, 155 масса зубка составила 5 г.

Сортообразцы №154, 96, 116, 136, 155 и сорт Любовь с массой зубка 5 и более грамм пригодны для механизированной посадки.

Содержание сухого вещества – один из наследственно обусловленных признаков, подверженных влиянию метеорологических условий. Колебания в температуре, осадках в период роста и созревания луковиц способствует снижению его содержания [10]. Максимальное содержание сухого вещества в луковице было отмечено у сортообразца №155 (46,24 %), минимальный – у сорта-стандарта Любовь (33,88 %) (табл. 5).

От содержания сахаров в растительных клетках, как основного источника энергии, во многом зависит развитие растений, урожай и качество получаемой продукции [11]. В коллекционных образцах содержание сахаров варьировало от 12,28 до 15,82 %. Максимальное содержание отмечено у сортообразца № 155 (15,82 %). Средний показатель составил 14,07 %.

К числу наиболее важных витаминов для жизнедеятельности организма человека относится аскорбиновая кислота. Содержание витамина С у образцов варьировало от 9,02 до 13,20 мг%. Максимальное содержание отмечено у сортообразца №135 (13,20 мг%). Среднее содержание аскорбиновой кислоты в образцах составило 10,62 мг%.

Таблица 4 – Продуктивность сортообразцов озимого чеснока (2020 г.) /
Table 4 – Productivity of winter garlic initial material (2020)

№ образца, сорт / Sample number, variety	Средняя масса, г / Average mass, g		Среднее количество зубков в луковичке, шт. / Average number of bulbil per bulb, pcs.	Урожайность, кг/м ² / Yield, kg/m ²	Отклонение от стандарта, кг/м ² / Deviation from the standard, kg/m ²
	зубка / of bulbil	луковицы / of bulb			
Любовь (стандарт) / Lyubov (standard)	5,0	27,0	7,0	0,82	-
96	5,0	22,0	7,0	0,78	-0,04
113	4,0	16,0	6,0	0,65	-0,17
114	4,0	20,0	6,0	0,87	0,05
115	3,0	20,0	7,0	1,02	0,20
116	5,0	24,0	7,0	0,84	0,02
135	3,0	18,0	6,0	0,69	-0,13
136	5,0	21,0	6,0	0,86	0,04
137	3,0	13,0	7,0	0,63	-0,19
140	3,0	16,0	7,0	0,69	-0,13
152	3,0	20,0	6,0	0,84	0,02
153	2,0	17,0	9,0	0,76	-0,06
154	7,0	24,0	6,0	0,94	0,12
Кировский / Kirovsky	4,0	17,0	7,0	0,69	-0,13
155	5,0	21,0	8,0	0,83	0,01
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,16				

Таблица 5 – Результаты биохимического анализа сортообразцов озимого чеснока /
Table 5 – Results of biochemical analysis of winter garlic samples

№ образца, сорт / Sample number, cultivar	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Сахаров, % / Sugar, %	Аскорбиновая кислота, мг/% / Ascorbic acid, mg%	Кислотность, % / Acidity, %
Любовь (стандарт) / Lyubov (standard)	33,88	14,59	11,66	0,83
96	36,51	12,28	9,46	0,72
113	43,97	14,24	11,00	0,74
114	44,24	15,34	9,02	0,74
115	43,02	13,90	10,78	0,74
116	42,56	13,94	9,02	0,72
135	44,09	14,23	13,20	0,83
136	44,04	13,35	10,12	0,81
137	41,89	13,32	11,66	0,81
140	42,48	13,47	10,78	0,70
152	43,87	13,62	10,56	0,63
153	41,99	13,12	9,68	0,81
154	43,92	15,15	11,88	0,74
Кировский / Kirovsky	42,97	14,74	9,68	0,68
155	46,24	15,82	10,78	0,70

Кислотность в исследуемых сортообразцах варьировала от 0,63 до 0,83 %. В среднем у образцов данный показатель составил 0,75 %.

Выводы. По срокам созревания в условиях вегетации 2019-2020 гг. выделились образцы озимого чеснока № 96, 136, 140, 154 и 155, которые созрели на 12-13 суток раньше сорта-стандарта Любовь, что говорит об их скороспелости.

Максимальная высота стрелки 122,5 см отмечена у сорта Кировский. По длине и ширине листа выделился сортообразец № 154 (51,9 и 2,3 см соответственно).

Для механизированной посадки (масса зубка 5 и более грамм) пригодны номера 154 (7 г), 96, Любовь, 116, 136, 155 (по 5 г).

По урожайности выделился № 115, который превосходит сорт-стандарт на 0,20 кг/м².

В результате биохимического анализа исследуемого материала было установлено, что содержание сухого вещества выше во всех сортообразцах относительно контроля. Максимальное содержание сухого вещества и сахаров отмечено у сортообразца № 155 (46,24 и 15,82 % соответственно). Сортообразец №154 характеризовался высоким содержанием аскорбиновой кислоты (11,88 мг%).

Необходимо отметить, что сортообразец №154 выделился по комплексу изуча-

емых признаков: урожайность на уровне контроля (0,94 кг/м²), максимальная средняя масса зубка (7 г), высокое содержание витамина С (11,88 мг%).

На основании проведённых исследований можно сделать предварительные выводы, что практически все образцы озимого чеснока изучаемой коллекции, независимо от их происхождения, пригодны для произрастания в условиях Кировской области.

Список литературы

1. Герасимова Л. И., Агафонов А. Ф., Середин Т. М. Оценка коллекционного питомника чеснока озимого по хозяйственно ценным признакам. Овощи России. 2018;(5):33-35. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-33-35>
2. Сузан В. Г., Гринберг Е. Г., Штайнерт Т. В. Производство чеснока в Сибири и на Урале: проблемы и перспективы. Картофель и овощи. 2013;(9):9-11. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/kio_9_2013.pdf
3. Скорина В. В., Кохтенкова И. Г. Сравнительная оценка коллекционных сортообразцов чеснока озимого по урожайности. Овощи России. 2021;(3):60-67. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-60-67>
4. Минаков И. А., Никитин А. В., Касторнов Н. П. Экономика и организация производства овощей: монография. Мичуринск: изд-во МичГАУ, 2010. 184 с.
5. Лазько В. Э., Боголепова Н. И., Лукомец С. Г. Обоснование выбора сортов озимого чеснока и возможностей его выращивания под укрывным материалом. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(12):58-61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25279748>
6. Середин Т. М., Герасимова Л. И. Способы размножения чеснока озимого с использованием посадочного материала зубки и однозубковые луковички сортов селекции ВНИИССОК. Селекция и семеноводство овощных культур. 2015;(4):500-504. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24170403&>
7. Ибрагимова Г. М., Алпысбаева В. О., Айтбаева А. Т., Кошмагамбетова М. Оценка коллекции озимого чеснока в условиях юго-востока Казахстана. Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2019;(6-2(63)):14-17. DOI: <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.63.161>
8. Жаркова С. В., Жарков В. Г. Определение корреляции количественных признаков чеснока озимого, влияющих на его продуктивность в условиях Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014;(9 (119)):30-35. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22287111>
9. Середин Т. М., Омаров Р. И., Сирота С. М., Молчанова А. В. Основные хозяйственно ценные признаки и биохимические показатели чеснока озимого в условиях Смоленской области. Известия ФНЦО. 2019;(1):150-153. DOI: <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-1-150-153>
10. Столбова Т. М., Жаркова С. В. Качественные характеристики луковички чеснока озимого в зависимости от погодных условий возделывания. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019;(10-1 (37)):6-8. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11596>
11. Скорина В. В., Кохтенкова И. Г., Берговина И. Г. Межсортовые различия сортов чеснока озимого по биохимическим показателям. Известия ФНЦО. 2019;(1):160-162. DOI: <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-1-160-162>

References

1. Gerasimova L. I., Agafonov A. F., Seredin T. M. *Otsenka kolleksiionnogo pitomnika chesnoka ozimogo po khozyaystvenno tsennym priznakam*. [Assessment of collection nursery of winter garlic on economy valuable signs]. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*. 2018;(5):33-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-33-35>
2. Suzan V. G., Grinberg E. G., Shtaynert T. V. *Proizvodstvo chesnoka v Sibiri i na Urale: problemy i perspektivy*. [Garlic production in Siberia and Ural: problems and prospects]. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2013;(9):9-11. (In Russ.). URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/kio_9_2013.pdf
3. Skorina V. V., Kokhtenkova I. G. *Sravnitel'naya otsenka kolleksiionnykh sortoobraztsov chesnoka ozimogo po urozhaynosti*. [Comparative evaluation of collection varieties of winter garlic by yield]. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*. 2021;(3):60-67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-60-67>
4. Minakov I. A., Nikitin A. V., Kastornov N. P. *Ekonomika i organizatsiya proizvodstva ovoshchey: monografiya*. [Economics and organization of vegetable production: monograph]. Michurinsk: *izd-vo MichGAU*, 2010. 184 p.

5. Lazko V. E., Bogolepova N. I., Lukomets S. G. *Obosnovanie vybora sortov ozimogo chesnoka i vozmozhnostey ego vyrashchivaniya pod ukryvnyim materialom*. [Evidence for the selection of winter garlic varieties and possibility of its culturation under covering material]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(12):58-61. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25279748>

6. Seredin T. M., Gerasimova L. I. *Sposoby razmnozheniya chesnoka ozimogo s ispol'zovaniem posadochnogo materiala zubki i odnozubkovye lukovitsy sortov seleksii VNISSOK*. [Ways of propagation of winter garlic by using a single clove and one-clove bulbs as a planting material of varieties of VNISSOK breeding]. *Selektsiya i semenovodstvo ovoshchnykh kul'tur*. 2015;(4):500-504. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24170403&>

7. Ibragimova G. M., Alpysbaeva V. O., Aytbaeva A. T., Koshmagambetova M. *Otsenka kolleksii ozimogo chesnoka v usloviyakh yugo-vostoka Kazakhstana*. [Assessment of winter garlic collection in the south-east of Kazakhstan]. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh (ESU) = Eurasian Union of Scientists*. 2019;(6-2(63)):14-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.63.161>

8. Zharkova S. V., Zharkov V. G. *Opreделение korrelyatsii kolichestvennykh priznakov chesnoka ozimogo, vliyayushchikh na ego produktivnost' v usloviyakh Altayskogo kraya*. [Determination of correlation of winter garlic's quantitative traits which affect its capacity in the Altai region]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;(9 (119)):30-35. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22287111>

9. Seredin T. M., Omarov R. I., Sirota S. M., Molchanova A. V. *Osnovnye khozyaystvenno tsennye priznaki i biokhimicheskie pokazateli chesnoka ozimogo v usloviyakh Smolenskoj oblasti*. [The main economic and valuable signs and biochemical indexes of garlic winter in the conditions of the Smolensk region]. *Izvestiya FNTsO = News of FSVC*. 2019;(1):150-153. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-1-150-153>

10. Stolbova T. M., Zharkova S. V. *Kachestvennyye kharakteristiki lukovits chesnoka ozimogo v zavisimosti ot pogodnykh usloviy vozdeleyvaniya*. [Qualitative characteristics of winter garlic bulbs depending on the weather conditions of cultivation]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;(10-1 (37)):6-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11596>

11. Skorina V. V., Kokhtenkova I. G., Bergovina I. G. *Mezhsortovye razlichiya sortov chesnoka ozimogo po biokhimicheskim pokazatelyam*. [Intervarietal differences in biochemical characteristics between winter garlic varieties]. *Izvestiya FNTsO = News of FSVC*. 2019;(1):160-162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-1-160-162>

Сведения об авторах

✉ **Чеглакова Оксана Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории овощеводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3227-6274>, e-mail: ovoshevodstvonii@mail.ru

Денисова Анна Валерьевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории овощеводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3708-2703>

Мотов Виктор Михайлович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории овощеводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9278-1462>

Information about the authors

✉ **Oksana A. Cheglakova**, junior researcher, the Laboratory of Vegetable Growing, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3227-6274>, e-mail: ovoshevodstvonii@mail.ru

Anna V. Denisova, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Vegetable Growing, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3708-2703>

Victor M. Motov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Vegetable Growing, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9278-1462>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть I

© 2021. А. В. Багмет¹✉, Е. М. Чеботок², А. В. Шлявас¹

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР),

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Российская Федерация

*В Гербарии культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR) создается фонд номенклатурных стандартов сортов отечественной селекции. Номенклатурные стандарты являются носителями подлинности генетической информации селекционного достижения и должны бессечно храниться в научной гербарной коллекции. В качестве номенклатурного стандарта назначается гербарный образец, собранный при непосредственном участии эксперта (автор сорта или официальный представитель организации-оригинатора). Номенклатурный стандарт подтверждает оригинальность сорта и защищает авторские права его создателей. В статье обнародованы номенклатурные стандарты 10 сортов чёрной смородины (*Ribes nigrum* L.), выведенных на Свердловской селекционной станции садоводства с 1983 по 1997 год и включённых в Государственный реестр селекционных достижений: Аккорд (WIR-54112), Василиса (WIR-54115), Вымпел (WIR-54118), Глобус (WIR-54119), Добрый Джинн (WIR-54121), Пилот (WIR-54127), Славянка (WIR-54129), Удалец (WIR-54132), Фортуна (WIR-54133), Шаман (WIR-54134). Помимо описания номенклатурных стандартов приводятся отличительные таксономические и хозяйственно ценные признаки каждого сорта. Гербарные образцы номенклатурных стандартов оформлены в соответствии с рекомендациями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP), зарегистрированы в базе данных «Гербарий ВИР» и влиты в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).*

Ключевые слова: районированный сорт, *Ribes nigrum*, Средний Урал, Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR)

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (тема № 0662-2019-0004) и Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (направление 150).

Авторы выражают глубокую благодарность Татьяне Николаевне Слепнёвой, руководителю Свердловской селекционной станции садоводства – структурного подразделения ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН» за организацию работы и помощь в её проведении.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Багмет А. В., Чеботок Е. М., Шлявас А. В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть I. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):873-886. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.873-886>

Поступила: 07.05.2021

Принята к публикации: 25.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I

© 2021. Larisa V. Bagmet¹✉, Elena M. Chebotok², Anna V. Shlyavas¹

¹N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russian Federation

²Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

*In the herbarium of cultivated plants of the world, their wild relatives and weeds (WIR) a collection of nomenclatural standards for cultivars of domestic breeding is being created. Nomenclatural standards are carriers of the authenticity of the genetic information of the breeding achievements and should be kept indefinitely in the scientific herbarium collection. A herbarium sample collected with the direct participation of an expert, which can be the author of the cultivar or official representative of the author's breeding organization, is designated as the nomenclature standard. The nomenclature standard confirms the originality of the cultivar, protects the copyright of its creators. The article publishes the nomenclature standards of 10 black currant (*Ribes nigrum* L.) cultivars, bred at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station from 1983 to 1997*

and included into the State Register of Breeding Achievements: Akkord (WIR-54112), Vasilisa (WIR-54115), Vympel (WIR-54118), Globus (WIR-54119), Dobry Dzhinn (WIR-54121), Pilot (WIR-54127), Slavyanka (WIR-54129), Udalets (WIR-54132), Fortuna (WIR-54133), Shaman (WIR-54134). In addition to the description of the nomenclature standards, the distinctive taxonomic and economically valuable traits of each cultivar are given. Herbarium samples of nomenclature standards are made in accordance with the recommendations of the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP), registered in the database "VIR Herbarium" and included in the Herbarium of cultivated plants of the world, their wild relatives and weeds (WIR).

Keywords: zoned cultivar, *Ribes nigrum*, Middle Ural, Herbarium of cultivated plants of the world, their wild relatives and weeds (WIR)

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 State Budgetary Institution "Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources" (theme No. 0662-2019-0004) and the state assignment of the Federal State Budgetary Institution "Ural Federal Agrarian Research Center UrB of RAS" (direction 150).

The authors express their deep gratitude to the Director of the Sverdlovsk Horticultural Breeding Station – a structural unit of the Federal State Budgetary Institution "Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" Tatyana Nikolaevna Slepneva for organizing the work and help in its implementation.

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

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

For citation: Bagmet L. V., Chebotok E. M., Shlyavas A. V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):873-886. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.873-886>

Received: 07.05.2021

Accepted for publication: 25.11.2021

Published online: 15.12.2021

Работа по созданию сортимента черной смородины была начата на Свердловской селекционной станции садоводства в 1935 году с поиска местных исходных форм для селекции. В настоящее время в селекции черной смородины селекционеры станции используют лучшие сорта, интродуцированные из различных географических зон, а также гибридные формы собственной селекции, выделившиеся при многолетнем сортоизучении как наиболее продуктивные, с хорошим товарным качеством ягод, устойчивые к наиболее распространенным болезням и вредителям [1]. За последние 40 лет в результате селекционной работы и многолетних исследований по сортоизучению создана коллекция перспективных сеянцев, включающая около 700 образцов, 11 сортов передано на государственное сортоиспытание, 10 сортов включено в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию¹ [2, 3].

Правильное документирование селекционного достижения гарантирует его законное использование и оригинальность. Важнейшей составной частью правильного документирования является номенклатурный стандарт – гербарный образец, который отражает таксономические признаки сорта, заверенный экспертом, законно опубликованный и бессрочно хранящийся в научной гербарной коллекции. Работа по созданию номенклатурных стандартов сортов плодовых культур селекции Свердловской селекцион-

ной станции садоводства была начата в ВИР в 2019 г. [4].

Цель исследований – оформить номенклатурные стандарты сортов черной смородины (*Ribes nigrum* L.) селекции Свердловской селекционной станции садоводства в рамках работ по созданию фонда номенклатурных стандартов сортов отечественной селекции с последующим его включением в Гербарии культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR).

Материал и методы. Работа выполнена во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) совместно с селекционерами Свердловской селекционной станции садоводства в 2020 г. Материалом для оформления номенклатурных стандартов послужили сорта смородины чёрной, полученные на Свердловской селекционной станции садоводства с 1983 по 1997 год, включенные в Государственный реестр селекционных достижений (табл. 1). Сбор растительного материала (цветы, однолетние побеги, плоды) проводили в коллекционном саду станции (УНУ «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале») в фазах «цветение» (10.05.2020, 12.05.2020) и «плодоношение» (10.07.2020, 13.07.2020, 30.07.2020) старшим научным сотрудником станции, соавтором большинства сортов Е. М. Чеботок согласно методике ВИР [5].

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 719 с.

Одновременно со сбором материала проводили описания морфологических признаков² [6] и фотосъемку цветов и плодов. Полученные данные сверяли с признаками, указанными

в официальных сопроводительных документах к сорту и опубликованных помологических описаниях [7, 8, 9, 10, 11].

*Таблица 1 – Сорта чёрной смородины, использованные для создания номенклатурных стандартов /
Table 1 – Blackcurrant cultivars used for developing nomenclature standards*

<i>Название сорта / Name of cultivar</i>	<i>Регион допуска сорта / Access region of cultivar</i>	<i>Год включения в Госреестр селекционных достижений / Year of inclusion into the State register of selection achievements</i>
Аккорд / Akkord	Уральский / Ural	2009
Василиса / Vasilisa	Западно-Сибирский / West Siberian	2008
Вымпел / Vympel	Волго-Вятский / Volgo-Vyatka	2020
Глобус / Globus		2004
Добрый Джин / Dobry Dzhinn		2013
Пилот / Pilot	Уральский / Ural	2021
Славянка / Slavyanka	Волго-Вятский, Западно-Сибирский / Volgo-Vyatka, West Siberian	2004
Удалец / Udalets	Волго-Вятский / Volgo-Vyatka	2019
Фортуна / Fortuna		2015
Шаман / Shaman		2018

Оформление номенклатурных стандартов проведено в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений (ICNCP) [12] и протоколом, разработанным в ВИР [13]. Каждый гербарный образец содержит фото плодов и цветов (при их наличии) и заверен подписью эксперта, подтверждающего аутентичность представленного растения.

Результаты и их обсуждение. В результате проведённых исследований созданы следующие номенклатурные стандарты, транслитерация названий приводится в авторской редакции.

Сорт Аккорд – cultivar Akkord. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Автор сорта: Т. В. Шагина. Получен при скрещивании гибрида ГА3-6-195 (Бредторп × Алтайская Десертная) с сортом Приморский великан. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.05.2020 (цветки), 10.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54112**) (рис. 1).

Сорт Василиса – cultivar Vasilisa. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садо-

водства. Автор сорта: Т. В. Шагина. Получен при скрещивании сортов Бурая Дальневосточная и Бредторп. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 10.05.2020 (цветки), 13.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54115**) (рис. 2).

Сорт Вымпел – cultivar Vympel. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Авторы сорта: Т. В. Шагина, Е. М. Чеботок. Получен при скрещивании гибрида 2-1-87 (Ленинградский великан × Минай Шмырев) с сортом Валовая. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.05.2020 (цветки), 10.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54118**) (рис. 3).

Сорт Глобус^{®3} – cultivar Globus[®]. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Автор сорта: Т. В. Шагина. Получен при скрещивании сортов Ленинградский Великан и Минай Шмырёв. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 10.05.2020 (цветки), 10.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54119**) (рис. 4).

²ФГБУ «Госсорткомиссия. Методики испытаний на ООС. URL: <https://gossortrf.ru/metodiki-ispytaniy-na-ooos/>

³Здесь и далее значком ® отмечены сорта, охраняемые патентами на селекционные достижения.

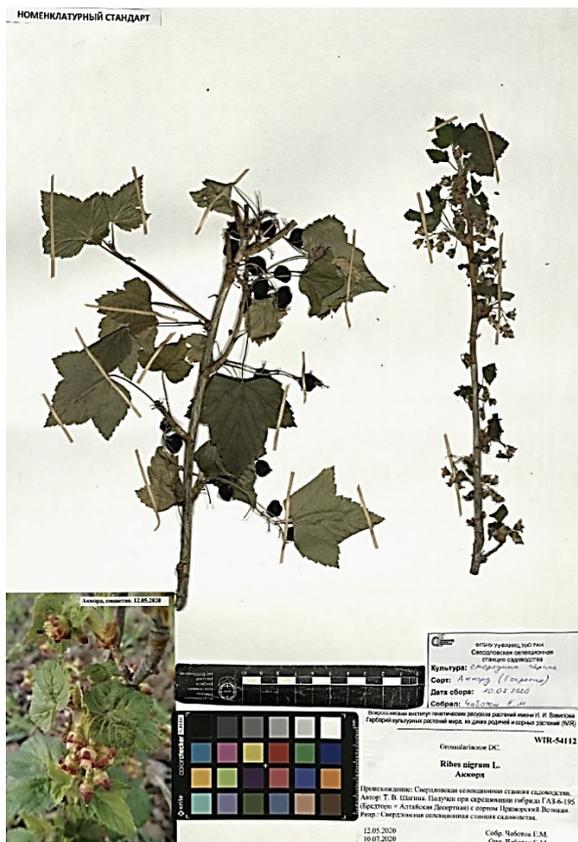


Рис. 1. Номенклатурный стандарт сорта Аккорд / Fig. 1. Nomenclatural standard of Akkord cultivar



Рис. 2. Номенклатурный стандарт сорта Василиса / Fig. 2. Nomenclatural standard of Vasilisa cultivar



Рис. 3. Номенклатурный стандарт сорта Вымпел / Fig. 3. Nomenclatural standard of Vympel cultivar

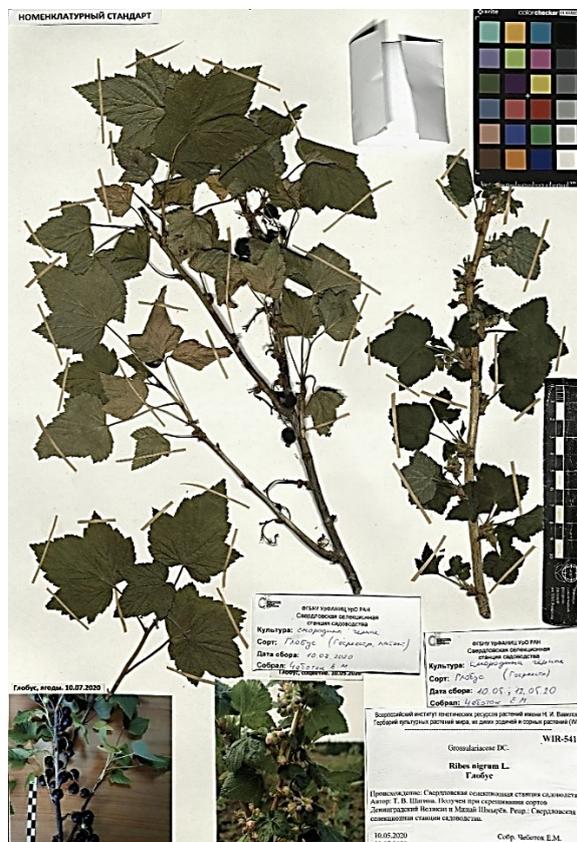


Рис. 4. Номенклатурный стандарт сорта Глобус / Fig. 4. Nomenclatural standard of Globus cultivar

Сорт Добрый Джинн® – cultivar Dobryu Dzhinn®. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Автор сорта: Т. В. Шагина. Получен при скрещивании сортов Fertodi и Диковинка. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 10.05.2020 (цветки), 10.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54121**) (рис. 5).



Рис. 5. Номенклатурный стандарт сорта Добрый Джинн / Fig. 5. Nomenclatural standard of Dobry Dzhinn cultivar

Сорт Славянка – cultivar Slavyanka. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Автор сорта: Т. В. Шагина. Получен при скрещивании сортов Fertodi и Зелёная Дымка. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.05.2020 (цветки), 30.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54129**) (рис. 7).

Сорт Удалец – cultivar Udalets. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Авторы сорта: Т. В. Шагина, Е. М. Чеботок. Получен при скрещивании сортов Славянка и Валовая. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 10.05.2020 (цветки), 13.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54132**) (рис. 8).

Сорт Пилот – cultivar Pilot. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Авторы сорта: Т. В. Шагина, Е. М. Чеботок. Получен от свободного опыления сорта Валовая. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 10.05.2020 (цветки), 13.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54127**) (рис. 6).

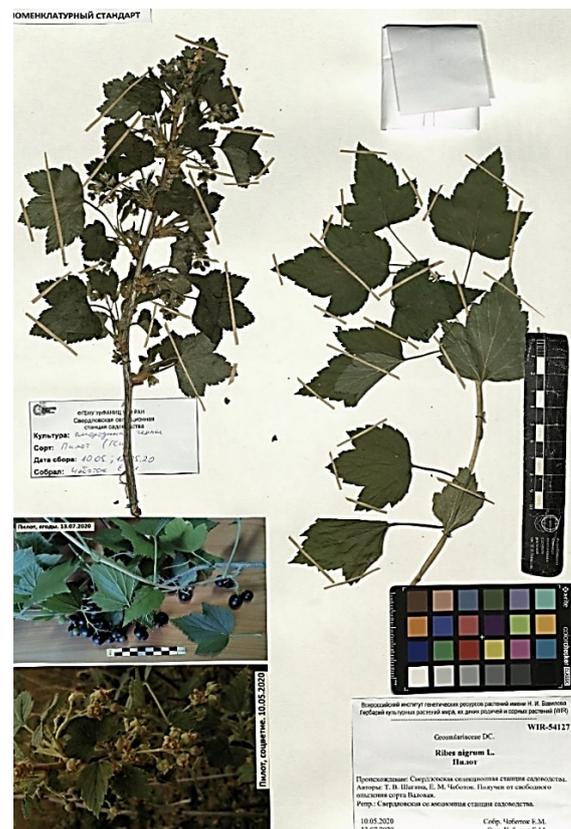


Рис. 6. Номенклатурный стандарт сорта Пилот / Fig. 6. Nomenclatural standard of Pilot cultivar

Сорт Фортуна® – cultivar Fortuna®. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Авторы сорта: Т. В. Шагина, Е. М. Чеботок. Получен от свободного опыления сорта Валовая. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 12.05.2020 (цветки), 13.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54133**) (рис. 9).

Сорт Шаман – cultivar Shaman. Nomenclatural standard. Происхождение: Свердловская селекционная станция садоводства. Авторы сорта: Т. В. Шагина, Е. М. Чеботок. Получен при скрещивании сортов Глобус и Валовая. Репродукция: Свердловская селекционная станция садоводства. Собран: 10.05.2020 (цветки), 13.07.2020 (ягоды, однолетний побег), Е. М. Чеботок (**WIR-54134**) (рис. 10).



Рис. 7. Номенклатурный стандарт сорта Славянка / Fig. 7. Nomenclatural standard of Slayvanka cultivar



Рис. 8. Номенклатурный стандарт сорта Удалец / Fig. 8. Nomenclatural standard of Udalets cultivar



Рис. 9. Номенклатурный стандарт сорта Фортуна / Fig. 9. Nomenclatural standard of Fortuna cultivar



Рис. 10. Номенклатурный стандарт сорта Шаман / Fig. 10. Nomenclatural standard of Shaman cultivar

Таблица 2 – Основные помологические признаки сортов чёрной смородины Аккорд, Василиса, Вымпел, Глобус, Добрый Джинн /
Table 2 – The main pomological characteristics of black currant cultivars Akkord, Vasilisa, Vympel, Globus, Dobry Dzhinn

Признак / Characteristics	Аккорд / Akkord	Василиса / Vasilisa	Вымпел / Vympel	Глобус / Globus	Добрый Джинн / Dobry Dzhinn
1	2	3	4	5	6
Высота куста / Height	Средней высоты (1 м) / Medium (1 m)	Высокий (1,4 м) / Tall (1,4 m)	Высокий (1,3 м) / Tall (1,3 m)	Высокий (1,3 м) / Tall (1,3 m)	Высокий (1,4 м) / Tall (1,4 m)
Габитус куста / Growth habit	Полураскидистый / Semi-spreading	Раскидистый / Spreading	Компактный и полураскидистый / Compact and semi-spreading	Компактный / Compact	Раскидистый / Spreading
Число основных побегов / Number of basal shoots	Среднее количество (6-7) / Medium (6-7)	Среднее количество (7-8) / Medium (7-8)	Среднее количество (6-7) / Medium (6-7)	Мало (< 6) / Few (< 6)	Много (8-10) / Many (8-10)
Окраска однолетнего одревесневшего побега / One-year-old shoot: color	Сероватая / Greyish	Светло-коричневая / Light-brown	Сероватая / Greyish	Красно-коричневая / Red-brown	Сероватая / Greyish
Отклонение вегетативной почки относительно побега / Vegetative bud: position in relation to shoot	Отклонена под острым углом / Moderately held out				
Длина вегетативной почки / Vegetative bud: length	Средняя / Medium				
Верхушка вегетативной почки / Vegetative bud: shape of apex	Широкозаостренная / Broad acute				
Антоциановая окраска вегетативной почки / Vegetative bud: anthocyanin coloration	Средняя / Medium		Слабая / Weak		Средняя / Medium
Налет на вегетативной почке / Vegetative bud: bloom	Средний / Medium				
Антоциановая окраска растущего побега / Young shoot: anthocyanin coloration	Очень слабая / Very weak		Средняя / Medium		Очень слабая / Very Weak
Длина листовой пластинки / Leaf blade: length	Средняя / Medium		Длинная / Long		Длинная / Long
Ширина листовой пластинки / Leaf blade: width	Средняя / Medium		Широкая / Broad		Широкая / Broad
Отношение длины к ширине листовой пластинки / Leaf blade: ratio length/width	Среднее / Medium				

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Основание листовой пластинки / Leaf blade: base	Открытое / Strongly open	Слегка открытое / Weakly Open			Открытое / Strongly open
Интенсивность зеленой окраски верхней стороны листовой пластинки / Leaf blade: intensity of green color (upper side)	Светлая / Light	Средняя и темная / Medium and dark			Средняя / Medium
Глянцевитость верхней стороны листовой пластинки / Glossiness of the upper side of the leaf blade	Слабая / Weak	Средняя / Medium	Очень слабая / Very weak	Слабая / Weak	Средняя / Medium
Антоциановая окраска верхней стороны черешка / Petiole: anthocyanin coloration on upper side	Сильная / Strong	Слабая / Weak	Средняя / Medium	Сильная / Strong	Слабая / Weak
Количество кистей на узел / Plant: number of inflorescences per axil	Одна-две / One and two				
Длина кисти / Inflorescence length	Длинная (8 см) / Long (8 cm)	Средняя (6 см) / Medium (6 cm)	Короткая (5 см) / Short (5 cm)	Короткая (5 см) / Short (5 cm)	Средняя и длинная (6-10 см) / Medium and long (6-10 cm)
Количество цветков в кисти / Inflorescence: number of flowers	Много (8-10 шт.) / many (8-10)	Среднее (8 шт.) / medium (8)	Мало (5 шт.) / Few (5)	Среднее (7 шт.) / Medium (7)	Много (8-10 шт.) / Many (8-10)
Антоциановая окраска чашелистика / Sepal: anthocyanin coloration	Сильная / Strong	Средняя / Medium			Очень слабая / Very weak
Антоциановая окраска завязи / Ovary: anthocyanin coloration	Средняя / Medium	Слабая / weak			Слабая / Weak
Одномерность ягод / One-dimensionality of berries	Высокая / High	Средняя / Medium			Низкая / Low
Размер ягод / Fruit: size	Средние (средняя масса 1,2 г, максимальная 3 г) / Medium (average berry weight 1.2 g, maximum 3 g)	Средние (средняя масса 1,3 г, максимальная 3 г) / Medium (average berry weight 1.3 g, maximum 3 g)	Средние и крупные (средняя масса 1,3 г, максимальная 4 г) / Medium and large (average berry weight 1.3 g, maximum 4 g)	Средние и крупные (средняя масса 1,4 г, максимальная 5 г) / Medium and large (average berry weight 1.4 g, maximum 5 g)	Крупные (средняя масса 1,8 г, максимальная 5 г) / Large (average berry weight 1.8 g, maximum 5 g)
Окраска ягод / Berry: color	Черная / Black				

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Глянцевитость ягод / Glossiness of berries		Средняя / Medium			Сильная / Strong
Чашечка / Calyx		Закрывающаяся / Closed			
Время начала распускания почек / Time of beginning of vegetative bud burst		Среднее / Medium			
Время начала цветения / Time of beginning of flowering		Среднее / Medium			
Срок созревания ягод / Time of beginning of fruit ripening	Среднее / Medium	Позднее / Late	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Очень раннее / Very early
Вкус ягод / Berry taste	Приятный кисло-сладкий / Pleasant sweet-sour	Хороший десертный / Good, dessert	Отличный, сладкий, десертный / Excellent, sweet, dessert	Хороший, пресно-сладкий, десертный / Good, insipid sweet, dessert	Отличный, сладкий, десертный / Excellent, sweet, dessert
Зимостойкость / Winter hardiness	Высокая / Highly resistant				
Устойчивость к вредителям и болезням / Resistance to diseases and pests	Слабо поражается мучнистой росой и септориозом, устойчив к почковому клещу / Weakly affected by powdery mildew and septoria, resistant to currant bud mite	Может незначительно поражаться пятнистостями листьев и почковым клещом / May be slightly affected by leaf spots and currant bud mites	Слабо поражается септориозом, устойчив к почковому клещу, может поражаться почковой молью / Weakly affected by septoria, resistant to currant bud mites, can be affected by bud moth	Может незначительно поражаться пятнистостями листьев и почковым клещом / May be slightly affected by leaf spots and currant bud mites	Слабо поражается пятнистостями листьев, устойчив к почковому клещу / Weakly affected by leaf spots, resistant to currant bud mites
Урожайность / Yield	До 120 ц/га / Up to 120 centners per hectare	До 168,3 ц/га / Up to 168.3 centners per hectare	До 186,6 ц/га / Up to 186.6 centners per hectare	80 ц/га / Up to 80 centners per hectare	153,3 ц/га / Up to 153.3 centners per hectare
Самплодность / Self-fertility	60,0 %	До 80,0 %	62,7 %	67,0 %	68,0 %
Плодоношение / Regularity of fruit-bearing	Стабильное / Regular	Нестабильное / Irregular	Стабильное / Regular	Стабильное / Regular	Стабильное / Regular
Назначение / Commercial use	Универсальный / Multipurpose consumption Десертный / Dessert				

Таблица 3 – Основные помологические признаки сортов чёрной смородины Славянка, Пилот, Удалец, Фортуна, Шаман /
Table 3 – The main pomological characteristics of black currant cultivars Pilot, Slavyanka, Udalets, Fortuna, Shaman

Признак / Characteristics	Славянка / Slavyanka	Пилот / Pilot	Удалец / Udalets	Фортуна / Fortuna	Шаман / Shaman
1	2	3	4	5	6
Высота куста / Height	Средней высоты (1 м) / Medium (1 m)	Средней высоты (1,2 м) / Medium (1.2 m)	Средней высоты (1,2 м) / Medium (1.2 m)	Средней высоты (1 м) / Medium (1 m)	Средней высоты (1,2 м) / Medium (1.2 m)
Габитус куста / Growth habit	Компактный / compact	Полураскидистый / Semi-spreading			
Число основных побегов / Number of basal shoots	Среднее (6) / Medium (6)	Среднее (6-8) / Medium (6-8)	Среднее (6) / Medium (6)		
Окраска однолетнего одревесневшего побега / One-year-old shoot: color	Светло-коричневый / Light-brown	Светло-коричнево-серый / Light brownish-gray	Желто-коричневый / Yellow-brown	Красно-коричневый / Red-brown	Желто-коричневый / Yellow-brown
Отклонение вегетативной почки относительно побега / Vegetative bud: position in relation to shoot	Отклонена под острым углом / Moderately held out				
Длина вегетативной почки / Vegetative bud: length	Средняя / Medium	Длинная / Long		Средняя / Medium	Длинная / Long
Верхушка вегетативной почки / Vegetative bud: shape of apex	Заостренная / Narrow acute	Широкозаостренная / Broad acute			
Антоциановая окраска вегетативной почки / Vegetative bud: anthocyanin coloration	Средняя / Medium	Сильная / Strong	Слабая / Weak	Средняя / Medium	Сильная / Strong
Налет на вегетативной почке / Vegetative bud: bloom	Слабый / Weak	Сильный / Strong		Средний / Medium	
Антоциановая окраска растущего побега / Young shoot: anthocyanin coloration	Слабая / Weak	Средняя / Medium	Слабая / Weak	Очень слабая / Very weak	
Длина листовой пластинки / Leaf blade: length	Длинная / Long	Средняя / Medium	Длинная / Long	Средняя / Medium	Длинная / Long
Ширина листовой пластинки / Leaf blade: width	Широкая / Broad	Средняя / Medium	Широкая / Broad	Средняя / Medium	Широкая / Broad
Отношение длины к ширине листовой пластинки / Leaf blade: ratio length/width	Среднее / Medium		Высокое, длина меньше ширины / Moderately compressed		Низкое, длина больше ширины / Moderately elongated

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
Основа листовой пластинки / Leaf blade: base		Открытое / Strongly open			Слегка открытое / Weakly open
Интенсивность зеленой окраски верхней стороны листовой пластинки / Leaf blade: intensity of green color (upper side)	Средняя / Medium	Светлая / Light			Средняя / Medium
Глянцевитость верхней стороны листовой пластинки / Glossiness of the upper side of the leaf blade	Слабая / Weak	Слабая / Weak	Отсутствует / Absent		Средняя / Medium
Антоциановая окраска верхней стороны черешка / Petiole: anthocyanin coloration on upper side	Отсутствует / Absent	Слабая / Weak	Средняя / Medium		Сильная / Strong
Количество кистей на узел / Plant: number of inflorescences per axil	Одна-две / One and two				
Длина кисти / Inflorescence: length	Длинная (6 см) / Long (6 cm)	Средняя (5 см) / Medium (5 cm)	Средняя (5 см) / Medium (5 cm)		Средняя (5 см) / Medium (5 cm)
Количество цветков в кисти / Inflorescence: number of flowers	Среднее (7) / Medium (7)	Много (8) / many (8)	Среднее (7) / Medium (7)		Много (8) / many (8)
Антоциановая окраска чашелистика / Sepal: anthocyanin coloration	Слабая / Weak	Слабая / Weak	Средняя / Medium		Сильная / strong
Антоциановая окраска завязи / Ovary: anthocyanin coloration	Отсутствует / Absent	Слабая / Weak	Средняя / Medium		Слабая / Weak
Одномерность ягод / One-dimensionality of berries	Высокая / High		Средняя / Medium		
Размер ягод / Fruit: size	Средние (средняя масса 1,3 г, максимальная 2,5 г) / Medium (average berry weight 1.3 g, maximum 2.5 g)	Средние и крупные (средняя масса 1,5 г, максимальная 5 г) / Medium and large (average berry weight 1.5 g, maximum 5 g)	Средние и крупные (средняя масса 1,4 г, максимальная 4 г) / Medium and large (average berry weight 1.4 g, maximum 4 g)	Крупные (средняя масса 1,6 г, максимальная 5 г) / large (average berry weight 1.6 g, maximum 5 g)	Средние и крупные (средняя масса 1,5 г, максимальная 4 г) / Medium and large (average berry weight 1.5 g, maximum 4 g)
Окраска ягод / Berry: color	Черная / black				

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Глянцевитость ягод / Glossiness of berries	Средняя / Medium	Сильная / strong	Средняя / Medium	Сильная / strong	Слабая / Weak
Чашечка / Calyx	Закрывающаяся / Closed				
Время начала распускания почек / Time of beginning of vegetative bud burst	Позднее / Late	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Раннее / Early	Раннее / Early
Время начала цветения / Time of beginning of flowering	Позднее / Late	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Среднее / Medium	Раннее / Early
Срок созревания ягод / Time of beginning of fruit ripening	Позднее / Late	Среднее / Medium	Раннее / Early	Позднее / Late	Раннее / Early
Вкус ягод / Berry taste	Десертный / Dessert	Кисло-сладкий / Sweet-sour	Приятный, кисло-сладкий / Pleasant, sweet-sour	Кисло-сладкий / Sweet-sour	Десертный, кожица кислая / Dessert, sour skin
Зимостойкость / Winter hardiness	Высокая / Highly resistant				
Устойчивость к вредителям и болезням / Resistance to diseases and pests	Высокоустойчив к пятнистостям листьев, может незначительно повреждаться почковым клещом / Highly resistant to leaf spots, may be slightly damaged by currant bud mites	Слабо поражается септориозом, устойчив к почковому клещу / Weakly affected by septoria, resistant to currant bud mites	Может незначительно повреждаться почковым клещом; в слабой степени поражается септориозом, в значительной степени – почковой молью / Can be slightly damaged by currant bud mites, to a weak extent affected by septoria, to a large extent by bud moth	Слабо поражается септориозом, устойчив к почко- вому клещу / Slightly affected by septoria, resistant to currant bud mites	Устойчив к мучнистой росе, слабоустойчив к почковой моли, может незначительно повреждаться почковым клещом и септориозом / Resistant to powdery mildew, weakly resistant to bud moth, it can be slightly damaged by bud mites and septoria
Урожайность / Yield	До 93,3 ц/га / Up to 93.3 centners per hectare	До 249,9 ц/га / Up to 249.9 centners per hectare	До 140 ц/га / Up to 140 centners per hectare	До 216,6 ц/га / Up to 216.6 centners per hectare	До 166,7 ц/га / Up to 166.7 centners per hectare
Самоплодность / Self-fertility	70,0 %	66,0 %	63,1 %	63,0 %	61,8 %
Плодоношение / Regularity of fruit-bearing	Стабильное / Regular				
Назначение / Commercial use	Универсальный / Multipurpose consumption				

Основные помологические характеристики каждого сорта для наглядности представлены в виде таблиц (табл. 2, 3).

Заключение. В данной публикации обнаружены номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины, включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию.

Для создания номенклатурных стандартов был собран растительный материал, загербаризированы и оформлены 10 гербарных образцов в количестве 17 гербарных листов:

Аккорд (WIR-54112), Василиса (WIR-54115), Вымпел (WIR-54118), Глобус (WIR-54119), Добрый Джинн (WIR-54121), Пилот (WIR-54127), Славянка (WIR-54129), Удалец (WIR-54132), Фортуна (WIR-54133), Шаман (WIR-54134). Номенклатурные стандарты зарегистрированы в БД «Гербарий ВИР» и переданы на хранение в типовой фонд Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (WIR). Цифровое изображение номенклатурных стандартов будет доступно по адресу <http://db.vir.nw.ru/herbar/herbs>.

Список литературы

1. Шагина Т. В. Селекция чёрной смородины на Среднем Урале. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007;(6(32)):14-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12516186>
2. Шагина Т. В., Батманова Е. М. Результаты селекции смородины черной на Среднем Урале. Аграрный вестник Урала. 2011;(1(80)):63-64. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17868531>
3. Чеботок Е. М. Пополнение сортимента чёрной смородины для Волго-Вятского региона. Современное садоводство. 2020;(1):10-15. Режим доступа: <http://journal-vniispk.ru/pdf/2020/1/2.pdf>
4. Шлявас А. В., Тележинский Д. Д., Багмет Л. В. Номенклатурные стандарты сортов яблони селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть 1. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):94-99. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-94-99>
5. Белозор Н. И. Гербаризация культурных растений: методические указания. Л.: ВИР, 1989. 56 с.
6. Князев С. Д., Баянова Л. В. Смородина, крыжовник и их гибриды. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Под ред. Е. Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 1999. С. 353-373.
7. Чеботок Е. М. Новый сорт смородины чёрной Шаман. Плодоводство и ягодоводство России. 2018;54:77-80. DOI: <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-54-77-80>
8. Шагина Т. В. Славянка. Помология. Том IV. Смородина. Крыжовник. Под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 2009. С. 241-242.
9. Шагина Т. В. Глобус. Помология. Том IV. Смородина. Крыжовник. Под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 2009. С. 86-87.
10. Шагина Т. В. Василиса. Помология. Том IV. Смородина. Крыжовник. Под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 2009. С. 64-65.
11. Шагина Т. В. Добрый Джинн. Помология. Том IV. Смородина. Крыжовник. Под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 2009. С. 101-102.
12. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Xiaobai Jin. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;(18):1-27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf
13. Гавриленко Т. А., Чухина И. Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (WIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. Биотехнология и селекция растений. 2020;3(3):6-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45608320>

References

1. Shagina T. V. *Seleksiya chernoy smorodiny na Srednem Urale*. [Selection of a currant black in the middle Urals]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2007;(6(32)):14-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12516186>
2. Shagina T. V., Batmanova E. M. *Rezultaty seleksii smorodiny chernoy na Srednem Urale*. [Results of selection of a currant black in average Ural mountains]. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(1(80)):63-64. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17868531>
3. Chebotok E. M. *Popolnenie sortimenta chernoy smorodiny dlya Volgo-Vyatskogo regiona*. [Replenishment of the assortment of black currants for the Volga-Vyatka region]. *Sovremennoe sadovodstvo* = Contemporary horticulture. 2020;(1):10-15. (In Russ.). URL: <http://journal-vniispk.ru/pdf/2020/1/2.pdf>
4. Shlyavas A. V., Telezhinskiy D. D., Bagmet L. V. *Nomenklaturnye standarty sortov yabloni seleksii Sverdlovskoy selektsionnoy stantsii sadovodstva. Chast' I*. [Nomenclature standards of apple varieties selected by the Sverdlovsk Horticulture Research Station. Part 1]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):94-99. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-94-99>

5. Belozor N. I. *Gerbarizatsiya kul'turnykh rasteniy: metodicheskie ukazaniya*. [Herbarization of cultivated plants (Guidelines)]. Leningrad: VIR, 1989. 56 p.

6. Knyazev S. D., Bayanova L. V. *Smorodina, kryzhovnik i ikh gibridy. Programma i metodika sortoizucheniya plodovyykh, yagodnykh i orekho-plodnykh kul'tur*. [Currant, gooseberry and their hybrids. Programme and methodology of study of fruit, berry and walnut crops]. *Pod red. E. N. Sedova*. Orel: VNIISPK, 1999. pp. 353-373.

7. Chebotok E. M. *Novyy sort smorodiny chernoy Shaman*. [New variety of black currant Shaman]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2018;54:77-80. DOI: <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-54-77-80>

8. Shagina T. V. *Slavyanka. Pomologiya. Tom IV. Smorodina. Kryzhovnik*. [Pomology. Volume IV. Currant. Gooseberry]. *Pod red. E. N. Sedova*. Orel: VNIISPK, 2009. pp. 241-242.

9. Shagina T. V. *Globus. Pomologiya. Tom IV. Smorodina. Kryzhovnik*. [Globus. Pomology. Volume IV. Currant. Gooseberry]. *Pod red. E. N. Sedova*. Orel: VNIISPK, 2009. pp. 86-87.

10. Shagina T. V. *Vasilisa. Pomologiya. Tom IV. Smorodina. Kryzhovnik*. [Vasilisa. Pomology. Volume IV. Currant. Gooseberry]. *Pod red. E. N. Sedova*. Orel: VNIISPK, 2009. pp. 64-65.

11. Shagina T. V. *Dobryy Dzhinn. Pomologiya. Tom IV. Smorodina. Kryzhovnik*. [Dobryy Dzhinn. Pomology. Volume IV. Currant. Gooseberry]. *Pod red. E. N. Sedova*. Orel: VNIISPK, 2009. pp. 101-102.

12. Brickell C. D., Alexander C., Cubey J. J., David J. C., Hoffman M. H. A., Leslie A. C., Malécot V., Xiaobai Jin. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;(18):1-27. URL: https://www.ishs.org/sites/default/files/static/ScriptaHorticulturae_18.pdf

13. Gavrilenko T. A., Chukhina I. G. *Nomenklaturnye standarty sovremennykh rossiyskikh sortov kartofelya, khranyashchiesya v gerbarii VIR (WIR): novye podkhody k registratsii sortovogo genofonda v genbankakh*. [Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (WIR): a new approach to cultivar genepool registration in a genebank]. *Biotekhnologiya i selektsiya rasteniy = Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):6-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45608320>

Сведения об авторах

✉ **Багмет Лариса Владимировна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, отдел агроботаники и сохранения *in situ* генетических ресурсов растений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), ул. Б. Морская, 42, 44, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-0056>, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

Чеботок Елена Михайловна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, отдел селекции и сортоизучения плодовых и ягодных культур, Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID**: <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>

Шлявас Анна Владимировна, младший научный сотрудник, отдел генетических ресурсов плодовых культур, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), ул. Б. Морская, 42, 44, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID**: <https://orcid.org/0000-0002-8009-6780>

Information about the authors

✉ **Larisa V. Bagmet**, PhD in Biological Science, leading researcher, Department of agrobotany and *in situ* conservation of plant genetic resources, N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Str., Saint-Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-0056>, e-mail: lady.brodjaga2010@yandex.ru

Elena M. Chebotok, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Department of breeding and cultivar research of fruit and berry crops, Sverdlovsk Horticultural Breeding Station – a structural unit of Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A, Belinskogo Street, Ekaterinburg, Russian Federation, 620142, e-mail: sadovodnauka@mail.ru, **ORCID**: <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>

Anna V. Shlyavas, associate researcher, Department of genetic resources of fruit crops, N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Str., Saint-Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, **ORCID**: <https://orcid.org/0000-0002-8009-6780>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.887-895>
УДК 632.631



Эффективность применения регулятора роста Энергия-М в системе защиты озимой пшеницы

© 2021. А. Е. Артемьева ✉, М. Н. Захарова, Л. В. Рожкова

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Рязанская обл., с. Подвязье, Российская Федерация

В формировании урожая озимой пшеницы защита культуры от вредных организмов и стресса от пестицидов, неблагоприятных абиотических факторов является одним из важных элементов технологии. Для увеличения урожайности и уменьшения воздействия неблагоприятных факторов в системах защиты озимой пшеницы применяют регуляторы роста растений (РРР). В условиях Рязанской области исследована (2019-2020 гг.) эффективность использования баковых смесей пестицидов с регулятором роста Энергия-М (0,01 кг/га) в системах защиты озимой пшеницы сорта Даная. В варианте с применением баковой смеси пестицидов с РРР отмечено статистически значимое превышение урожайности в сравнении с контролем (без обработки) на 1,4 т/га (31 %) и вариантом с обработкой баковой смесью без применения регулятора роста – на 0,9 т/га (18 %). Под воздействием РРР отмечено снижение негативного воздействия пестицидов на ростовые процессы, повышение урожайности культуры на 18 % за счет образования дополнительного количества продуктивных стеблей (80 шт/м²) и получение более высокого условно чистого дохода по сравнению с системой защиты без регулятора роста растений.

Ключевые слова: элементы технологии, урожайность, регуляторы роста растений, *Triticum aestivum* L.

Благодарность: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2019-0027).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Артемьева А. Е., Захарова М. Н., Рожкова Л. В. Эффективность применения регулятора роста Энергия-М в системе защиты озимой пшеницы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(6):887-895. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.887-895>

Поступила: 28.04.2021 Принята к публикации: 18.11.2021 Опубликована онлайн: 15.12.2021

The effectiveness of the use of Energia-M growth regulator in the protection system of winter wheat

© 2021. Elena A. Artemieva ✉, Marina N. Zakharova, Lyudmila V. Rozhkova

Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Ryazan Region, s. Podvyazie, Russian Federation

In the formation of the winter wheat yield, the protection of the crop from pests, stress, pesticides and adverse abiotic factors is one of the important elements of the technology. To increase yield and reduce the impact of adverse factors in winter wheat protection systems, plant growth regulators are used. In the conditions of the Ryazan region in 2019-2020, the effectiveness of the use of tank mixtures of pesticides with the growth regulator Energia-M (0.01 kg/ha) in the protection systems of winter wheat of the Danaya variety was studied. In the variant with the use of a tank mixture of pesticides with a growth regulator, a statistically significant excess of yield was noted in comparison with the control (without treatment) by 1.4 t/ha (31 %) and with the variant with treatment using a tank mixture without the use of a growth regulator - by 0.9 t/ha (18 %). Under the influence of the plant growth regulator, a decrease in the negative impact of pesticides on growth processes, an increase in crop yield by 18 % due to the formation of an additional number of productive stems (80 pcs / m²) were noted and a higher net operating profit was obtained compared to the protection system without a plant growth regulator.

Keywords: elements of technology, yield, plant growth regulators, *Triticum aestivum* L.

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0027).

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: Artemieva E. A., Zakharova M. N., Rozhkova L. V. The effectiveness of the use of Energia-M growth regulator in the protection system of winter wheat. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):887-895. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.887-895>

Received: 28.04.2021 Accepted for publication: 18.11.2021 Published online: 15.12.2021

Совершенствуя уровень культуры земледелия, можно снижать неблагоприятное воздействие экстремальных погодных условий на количество и качество урожая сельскохозяйственных культур.

В настоящее время ощутимые потери сельскохозяйственной продукции происходят из-за проявления погодно-климатических аномалий. В результате существенным колебаниям подвержен баланс производства и потребления зерновой продукции, достигая критического уровня в отдельные периоды. В обозримом будущем развитие сельского хозяйства будет происходить не только благодаря совершенствованию агротехники, но и за счет улучшения методов более эффективной адаптации агроэкосистем и агроландшафтов к варьирующим во времени и пространстве факторам внешней среды [1].

Для получения запланированного урожая зерновых требуется не только внесение расчетных доз органических и минеральных удобрений, но и применение целого комплекса биологически активных веществ, обеспечивающих оптимальную защиту растений конкретной культуры от болезней, вредителей и сорной растительности, препятствующих нормальному росту и развитию культурных посевов, получению высококачественной продукции растениеводства [2, 3].

Еще 30-40 лет назад регуляторы роста растений представляли в основном интерес для науки, а в практике сельского хозяйства имели весьма ограниченное распространение. В мировом агропромышленном комплексе в наше время появляются новые глобальные вызовы (стрессовые нагрузки, связанные с применением гербицидов, увеличение периодов с экстремальными температурами, нерегулярное выпадение осадков и т. д.). Решение данных вопросов ученые предлагают с помощью применения регуляторов роста (РРР) [3, 4].

В соответствии с принятой классификацией агрохимикатов РРР относятся к пестицидам. Их применяют для воздействия на параметры роста и развития органов и растений в целом в разные фазы, а также на реакцию растений в условиях влияния факторов стресса. Перспективность более широкого применения РРР в сельскохозяйственном производстве определяется низкими нормами расхода и возможностью управлять процессами роста и развития растений. С точки зрения многих ученых [2, 3, 5, 6], регуляторы роста растений в обозримом

будущем будут пользоваться стабильным спросом как минеральные удобрения и средства защиты растений. Они являются существенным резервом роста урожайности сельскохозяйственных культур, улучшения качества продукции и уменьшения токсической нагрузки на выращиваемые растения и окружающую среду.

Одним из элементов технологии возделывания озимой пшеницы является защита культуры от комплексного воздействия вредных организмов. Эффективность химических средств возрастает при использовании их в совокупности, когда каждый компонент создает условие для того, чтобы другие препараты могли проявить наиболее полно свое действие, обеспечивая создание более подходящих условий для роста культуры и формирования урожая хорошего качества.

Применение новых агротехнологий позволяет собирать высокие стабильные урожаи сельскохозяйственных культур в условиях постоянного воздействия стрессовых факторов. Для повышения урожайности и качества продукции зерновых культур наиболее часто в последнее время применяют регуляторы роста растений. Хорошо известны и прошли целевую проверку в нашей стране и за рубежом многие препараты. Среди них Энергия-М – регулятор роста на основе ортокрезоуксусной кислоты триэтаноламмониевой соли и ее композиции с 1-хлорметилсилатраном, обладающий свойствами адаптогена и иммуномодулятора¹.

Применение кремнийорганического препарата Энергия-М повышает энергию прорастания семян и всхожесть, индуцирует иммунитет растений, активизирует развитие мощной корневой системы, повышает устойчивость к стрессовым факторам [6, 7].

Использование баковых смесей пестицидов для одновременной защиты от нескольких вредных объектов часто более эффективно, чем использование каждого из элементов по отдельности. Это позволяет уменьшить нормы расхода препаратов, сократить кратность обработок и увеличить производительность труда, повысить экономическую эффективность возделывания культуры. По данным многих исследователей [8, 9, 10], обработка баковыми смесями позволяет стимулировать ростовые свойства растений, повышать устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды и воздействию патогенов, а также повысить урожайность на 15-30 %.

¹Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Приложение к журналу «Защита и карантин растений». М.: Редакция журнала, 2021. 684 с.

Совместно применяемые пестициды и регуляторы роста позволяют сорту проявить его потенциальные возможности, заложенные в генотипе природой и селекцией. Обработка регуляторами роста в небольших количествах является эффективным стимулирующим приемом ростовых процессов и защиты растений от абиотических стрессов [11].

Растения озимой пшеницы, как и другие зерновые культуры, подвержены негативному влиянию абиотических [12] и биотических стрессовых факторов.

Ежегодно из-за болезней и вредителей в России теряется десятки миллионов тонн зерна и другой продукции растениеводства. В посевах озимой пшеницы Рязанской области широко распространены и имеют экономическое значение следующие грибные болезни: мучнистая роса (*Erysiphe graminis* DC.f. *sp. tritici* Em. Marchal), бурая листовая ржавчина (*Puccinia recondita* Dietel & Holw.), септориоз листьев и колоса (*Septoria tritici, nodorum*); корневые гнили: фузариозная корневая гниль (*Fusarium* Link); головневые заболевания: твердая головня пшеницы (*Tilletia caries*). Потери урожая зерна озимой пшеницы от бурой ржавчины ежегодно составляют до 3 %, мучнистой росы – 0,3 %, септориоза – 0,5 %, корневых гнилей – до 5 %, головни – 0,3 % и от всего комплекса патогенов до 6 % урожая культуры².

Из обширного мира животных организмов выделились виды, которые кормятся на посевах зерновых культур, размножаются в массовом количестве и наносят большой вред сельскому хозяйству. На территории Рязанской области важнейшими вредителями озимой пшеницы являются насекомые: трипсы (*Haplotrips tritici* Kurd.), злаковые тли (*Macrosiphum arvenae* F., *Schizaphis graminina* Rond), остроголовые клопы (*Aelia acuminata* L.), пьявица (*Lema melanopus* L.), муха шведская (*Oscinella pusilla* Mg.), муха гессенская (*Mayetiola destructor* Say.).

Вредоносность сорняков в современном земледелии определяется не только численностью, видовым составом или массой сорных растений в посевах культур, но и чувствительностью к ним культурных растений в различные фазы роста и развития. В условиях Рязанской области посева озимой пшеницы засоряют зимующие виды сорняков: ромашка непа-

хучая (*Matricaria perforate* Merat), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* L.), василек синий (*Centaurea cyanus* L.), редька дикая (*Raphanus raphanistrum* L.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.), подмаренник цепкий (*Gálium aparine* L.), живокость полевая (*Consolida regalis* S.F. Gray), фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr). Эти виды способны всходить вместе с растениями озимой пшеницы, вегетировать до глубокой осени, перезимовать в любой фазе роста и в дальнейшем в течение всего периода вегетации оказывать отрицательное влияние на рост и развитие культуры. Потери зерна от сорных растений достигают 25-35 %, при средней урожайности 20-25 ц/га ежегодно теряется 5-6 ц/га [13]. В то же время вызванный гербицидной обработкой стресс может приводить к снижению до 50 % урожая сельскохозяйственных культур [14].

Действующие вещества регуляторов роста растений, кроме прямого действия на органогенез и рост, индуцируют физиологические и биохимические реакции генотипа, направленные на стимуляцию и активизацию адаптивных процессов. К числу препаратов, обладающих антистрессовым и рострегулирующим действием, увеличивающим урожайность и повышающим устойчивость к болезням, относится Энергия-М. В этой связи возникает необходимость в проведении научных исследований, направленных на изучение и анализ агробиологической эффективности этого препарата в специфических биоэкологических условиях Рязанской области.

Цель исследований – изучить эффективность регулятора роста Энергия-М в системе защиты нового сорта озимой пшеницы Даная в условиях Рязанской области.

Материал и методы. Исследования проводили на базе Института семеноводства и агротехнологий (филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) в 2019-2020 гг.

Изучение элементов технологии интегрированной защиты озимой пшеницы проводили по схеме, представленной в таблице 1. Все семена перед посевом были обработаны протравителем, обеспечивающим защиту от гельминтоспориозной и фузариозной корневых гнилей, бурой ржавчины, септориоза (на ранних стадиях), а также хлебных блошек и злаковых мух

²Полянский С. Я. Инновационная технология возделывания озимой пшеницы с использованием комплексной системы защиты. Рязань, 2008.С.15-16.

Таблица 1 – Схема защиты /
Table 1 – Protection Scheme

Вариант / Variant	Применяемая система защиты / The protection system used
I	1. Балерина супер, 42,5 %, СЭ (0,5 л/га) + Энергия-М (0,01 кг/га) + Борей Нео, 27,5 %, СК (0,2 л/га) – опрыскивание в фазу весеннего кущения / Balerina super, 42.5 %, SE (0.5 l/ha) + Energy-M (0.01 kg/ha) + Borey Neo, 27.5 %, SC (0.2 l/ha) – spraying in the spring tillering phase 2. Ракурс, 40 %, СК (0,3 л/га) + Борей Нео, 27,5 %, СК (0,2 л/га) – опрыскивание в фазу колошения / Rakurs, 40%, SC (0.3 l/ha) + Borey Neo 27.5 %, SC (0.2 l/ha) – spraying in the heading phase
II	1. Балерина супер, 42,5 %, СЭ (0,5 л/га) + Борей Нео, 27,5 %, СК (0,2 л/га) – опрыскивание в фазу весеннего кущения / Balerina super, 42.5 %, SE (0.5 l/ha) + Borey Neo, 27.5 %, SC (0.2 l/ha) – spraying in the spring tillering phase 2. Ракурс, 40 %, СК (0,3 л/га) + Борей Нео, 27,5 %, СК (0,2 л/га) – опрыскивание в фазу колошения / Rakurs 40 %, SC (0.3 l/ha) + Borey Neo 27.5 %, SC (0.2 l/ha) – spraying in the heading phase
III	Контроль – без обработок / Control – no treatment

Примечание. I – система защиты с применением PPP (Энергия-М), II – система защиты без PPP /
Note: I – Protection system with plant growth regulator (Energy-M), II – protection system without plant growth regulator

Объектами исследований являются озимая пшеница Даная, кремнийорганический препарат Энергия-М в сочетании со средствами защиты растений.

Сорт озимой пшеницы Даная – разновидность *Lutescens*. Среднеспелый, вегетационный период 286-329 дней. Устойчив к полеганию, высота растений 86-112 см. Масса 1000 зерен – 41-48 г. Зимостойкость 95,0-98,5 %. Устойчив к засухе в период формирования и налива зерна. Обладает высокой полевой устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине. Слабо поражается септориозом. Включен в Госреестр по Центральному (3) региону. Агротехника возделывания – общепринятая для данной культуры в Рязанской области³.

Основой препарата Энергия-М является биоактивный кремний и аналог фитогормонов ауксинового типа – крезацин, относящийся к группе аналогов природных ауксинов, которые участвуют в обмене нуклеиновых кислот, синтеза белков и различных ферментов⁴.

Компоненты баковых смесей были подобраны с учетом расширения спектра действия на вредные объекты озимой пшеницы, а также снижения пестицидной нагрузки на обраба-

тываемую культуру и оптимального сочетания входящих в нее компонентов. В состав баковой смеси, кроме PPP, включены гербицид (Балерина супер, СЭ), инсектицид (Борей Нео, СК) и фунгицид (Ракурс, СК). В период проводимых обработок на растениях только начинали появляться единичные особи вредителей, поэтому в обрабатываемые смеси был включен инсектицид. В контроле была проведена обработка водой.

Исследования по элементам технологии интегрированной системы защиты озимой пшеницы проводятся в звене севооборота (горох-озимая пшеница-соя-яровой ячмень). Почва участка темно-серая лесная тяжелосуглинистая, содержание гумуса 3,6 %; калия – 155 мг/кг почвы, фосфора 269 мг/кг почвы, рН_{сол} 5,8. Площадь обрабатываемой делянки – 50 м², повторность 4-кратная, учетная площадь – 10 м².

Наблюдения в опытах проводили по общепринятым методикам⁵.

Урожай учитывали сплошным способом, результаты обрабатывали статистически с использованием программ «Diana» и Microsoft Excel, методики Б. А. Доспехова.

³Вавилова Н. В., Улина А. И., Веневцев В. З. Базовая технология возделывания зерна озимой пшеницы в Рязанской области. Рязань, 2005. С. 15-27.

⁴Логинов С. В., Петриченко В. Н. Изучение кремнийорганического препарата Энергия-М. Агротехнический вестник. 2010;(2):22-24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15107386>

⁵Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. СПб.: ВНИИЗР, 2013. С. 34-81; Руководство по проведению регистрационных испытаний регуляторов роста растений, дефолиантов и десикантов в сельском хозяйстве. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. С. 34-41; Доспехов Б. А. Основы методики полевого опыта. М.: «Просвещение», 1967. 176 с.

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по методике Г. Т. Селянинова⁶. В 2019 году ГТК составил 0,64, что характеризовало дефицит увлажнения в период осеннего кушения озимой пшеницы (I-II этапы органогенеза растений). В 2020 году в фазу выхода в трубку (критический период по влагообеспеченности) наблюдался дефицит увлажнения (ГТК = 0,84). Фазы колошения, цветения (VIII, IX этапы органогенеза) проходили при достаточном увлажнении (ГТК = 1,35), фаза молочной спелости – в условиях повышенного увлажнения (ГТК = 1,79). Суммы активных температур для развития озимой пшеницы

сорта Даная в годы исследования были оптимальны, в 2019 году сумма активных температур в период фазы кушения осенью составила около 200 °С, в 2020 году в фазы выхода в трубку, колошения, цветения, созревания – 1400 °С, следовательно тепла было достаточно для развития растений.

Результаты и их обсуждение. По результатам учета засоренности, проведенного перед опрыскиванием гербицидами, установили, что посеы озимой пшеницы были засорены как однолетними двудольными сорняками, так и многолетними корнеотпрысковыми (табл. 2).

Таблица 2 – Исходная засоренность посевов озимой пшеницы сорта Даная (12 мая 2020 год) / Table 2 – Initial contamination of winter wheat crops of the Danaya variety (May 12, 2020)

Вид сорных растений / Specie of weeds	Фаза развития сорных растений / Phase of weed plant development	Количество, экз/м ² / Number, ex/m ²
Однолетние сорные растения / Annualweedplants		
Марь белая (<i>Chenopodium album</i> L.)	2-4 листа / 2-4 leaves	6
Подмаренник цепкий (<i>Galiumaparine</i> L.)	2-4 мутовки / 2-4 verticils	56
Фиалка полевая (<i>Viola arvensis</i> Murr.)	5 см / 5 cm	28
Звездчатка средняя (<i>Stellaria media</i> L.)	розетка 6-8 см / 6-8 cmrosette	12
Горец вьюнковый (<i>Polygonumconvolvulus</i> L.)	2-4 листа / 2-4 leaves	6
Пастушьясумка (<i>Capsella bursa – pastoris</i> L.)	10-15 см / 10-15 cm	15
Многолетние сорные растения / Perennialweedplants		
Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	Розетка листьев / Leaf rosette	2

Системы защиты посевов баковыми смесями с включением гербицида Балерина супер существенно снижали показатели засоренности, независимо от присутствия в составе смесей регулятора роста Энергия-М. Однолетние двудольные сорняки угнетались

по сравнению с контролем на 88,9-90,2 % по количеству и на 92,4-93,5 % по биомассе. Многолетние корнеотпрысковые угнетались на 100 % по количеству и биомассе (учет через 30 дней после опрыскивания в фазу весеннего кушения) (табл. 3).

Таблица 3 – Эффективность гербицида в системах защиты озимой пшеницы сорта Даная / Table 3 – The effectiveness of the herbicide in the protection system of winter wheat of the Danaya variety

Вариант / Variant	Снижение засоренности, % к контролю / Reduced contamination, % to control		
	Все сорняки / All Weeds	в том числе / including	
		однолетние двудольные / annual dicotyledonous	многолетние корнеотпрысковые / perennial sprouting
I. Система защиты с PPP / Protection system with plant growth regulator	89,1 92,4	88,9 92,4	100 100
II. Система защиты без PPP / Protection system without plant growth regulator	90,3 93,7	90,2 93,5	100 100
III. Контроль (без обработок) / Control (no treatments)	156,0 654,8	154,0 633,6	2,0 21,2

Примечание: числитель – количество сорняков, шт/м², знаменатель – масса, г/м² /
Note: numerator – number of weeds, pieces/m², denominator – mass, g/m².

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;(20):165-177.

Включение регулятора роста растений в систему защиты озимой пшеницы снижало степень поражения листовых поверхностей возбудителем септориоза листьев (*Septoria tritici* Rob.et Desm.) с 10,7 до 9,5 %. Биоло-

гическая эффективность фунгицида Ракурс в системе защиты с включением регулятора роста растений Энергия-М была выше, чем в варианте без применения PPP (II вариант) (табл. 4).

Таблица 4 – Эффективность фунгицида в системах защиты озимой пшеницы сорта Даная, % /

Table 4 – The effectiveness of the fungicide in the protection system of winter wheat of the Danaya variety, %

Вариант / Variant	Степень поражения (развитие болезни) септориозом листьев / Degree of damage (development of the disease) by septoria of leaves	Биологическая эффективность / Biological efficiency
I. Система защиты с PPP / Protection system with plant growth regulator	9,5	59,0
II. Система защиты без PPP/ Protection system without plant growth regulator	10,7	54,8
III. Контроль (без обработок) / Control (no treatments)	23,7	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,23	-

Применение регулятора роста растений в системе защиты озимой пшеницы позволило снизить негативное воздействие пестицидов на ростовые процессы. Средние показатели высоты растений и длины колоса при исполь-

зовании системы защиты с регулятором роста были на уровне контрольного варианта, тогда как система защиты без применения регулятора роста привела к снижению высоты растений на 6,9 см, колоса – на 0,6 см (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние систем защиты на показатели роста растений озимой пшеницы сорта Даная, см /

Table 5 – Influence of protection systems on growth rates of winter wheat plants of Danaya variety, cm

Вариант / Variant	Высота растений / Plant height	Длина колоса / Ear length
I. Система защиты с PPP / Protection system with plant growth regulator	102,6	7,6
II. Система защиты без PPP/ Protection system without plant growth regulator	97,4	7,1
III. Контроль (без обработок) / Control (no treatments)	104,3	7,7
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,08	0,07

В состав препарата Энергия-М входит аналог ауксина – гормон роста, который обладает высокой физиологической активностью, стимулирует рост дополнительных побегов растений. Улучшение условий роста и развития пшеницы сказались положительно в конечном итоге на ее продуктивности. Учет урожая озимой пшеницы показал, что система защиты с применением регулятора роста способствовала существенному увеличению урожайности на 18-31 % за счет образования дополнительного количе-

ства продуктивных стеблей (80-150 шт/м²). Прибавка урожая, полученная от введения в систему защиты озимой пшеницы регулятора роста Энергия-М, составила статистически значимую величину – 0,9 т/га (табл. 6).

Сравнение экономической эффективности изучаемых систем защиты озимой пшеницы (табл. 7) показало, что система защиты растений с применением регулятора роста имела более высокий условный чистый доход – 22231,4 руб/га при урожайности озимой пшеницы 5,9 т/га.

Таблица 6 – Влияние систем защитных мероприятий на биологическую урожайность озимой пшеницы сорта Даная /

Table 6 – Effect of protective systems on biological yield of winter wheat of Danaya variety

Вариант / Variant	Количество / Number		Масса 1000 зерен, г / Mass of 1000 grains	Биологическая урожайность, т/га / Biological yield, t/ha	Прибавка урожая, т/га / Additional yield, t/ha
	продуктивных стеблей, шт/м ² / of productive stems, pcs/m ²	зерен в колосе, шт. / of grains in the ear, pieces			
I. Система защиты с PPP / Protection system with plant growth regulator	610	21,6	44,8	5,9	1,4
II. Система защиты без PPP / Protection system without plant growth regulator	530	20,6	45,8	5,0	0,5
III. Контроль (без обработок) / Control (no treatments)	460	22,2	44,1	4,5	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	77	1,6	0,8	0,7	-

Таблица 7 – Экономическая эффективность систем защиты озимой пшеницы сорта Даная, руб/га /

Table 7 – Economic efficiency of winter wheat protection systems of Danaya variety, rub/ha

Показатель / Index	I. Система защиты с PPP / Protection system with plant growth regulator	II. Система защиты без PPP / Protection system without plant growth regulator	Контроль / Control
Заграты на защиту растений / Plant protection costs	5768,6	5118,6	-
Стоимость прибавки урожая / The cost of the additional yield	28000,0	10000,0	-
Условно чистый доход / Net operating profit	22231,4	4881,4	-

Выводы. В условиях Рязанской области получены предварительные результаты изучения эффективности применения регулятора роста Энергия-М в системе защиты посевов озимой пшеницы сорта Даная. Под воздействием PPP отмечено снижение негативного воздействия пестицидов на ростовые процес-

сы, повышение урожайности культуры на 18 % за счет образования дополнительного количества продуктивных стеблей (80 шт/м²) и получение более высокого условного чистого дохода по сравнению с системой защиты без регулятора роста растений.

Список литературы

1. Жученко А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика). М.: ООО «Издательство Агрорус», 2004. С. 630-876.
2. Шаповал О. А., Можарова И. П., Коршунов А. А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях. Защита и карантин растений. 2014;(6):16-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21561954>
3. Шаповал О. Н., Можарова И. П., Грабовская Т. Ю. Регуляторы роста растений в агротехнологиях основных сельскохозяйственных культур. М.: ВНИИА, 2015. 348 с.
4. Шаповал О. А. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве. Защита и карантин растений. 2019;(4):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37185625>
5. Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. How Plants cope with water stress in the Field Photosynthesis and crown. Annals of Botany. 2002;89(7):907-916. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
6. Азизбекян Р. Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений (обзор). Биотехнология. 2018;34(5):37-47. DOI: <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47>
7. Петриченко В. Н., Логинов С. В., Туркина О. С. К вопросу использования кремнийорганического препарата Энергия-М на сельскохозяйственных культурах в разных климатических зонах РФ для повышения

урожайности и качества продукции. Проектная культура и качество жизни. 2018;(11):74-90. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41484547>

8. Петриченко В. Н., Туркина О. С. Эффективность применения кремнийорганического препарата Энергия-М с комплексными водорастворимыми удобрениями Акварин и Растворин на столовых корнеплодах. Земледелие. 2015;(5):27-30.

9. Говоркова С. Б., Гафуров Р. М., Цымбалова В. А., Калабашкина Е. В. Изучение влияния нового регулятора роста растений с ретардатными свойствами на степень полегания озимой пшеницы. Земледелие. 2019;(5):39-41. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10509>

10. Дорожкина Л. А. Применение регуляторов роста и микроудобрений для повышения урожайности и качества зерна зерновых культур в условиях Рязанской области. Аграрный форум. 2017;(7):13.

11. Синишин О. Г., Шаповал О. А., Шулиева М. М. Инновационные регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве. Плодородие. 2016;(5):38-42. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27175740>

12. Okoro G. O., Onu O. B., Ngasoh F. G., Namessan N. The effect of climate change on abiotic plant stress: a review. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82681>

13. Захарова М. Н., Рожкова Л. В. Осеннее внесение гербицидов в посевы озимой пшеницы. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020;(5):27-29. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/5/27-29>

14. Злотников А. К., Алехин В. Г., Хрюкина Е. И. Антидотная активность регулятора роста Альбит при сочетании с различными функциональными группами пестицидов. Земледелие. 2008;(3):44-45.

References

1. Zhuchenko A. A. *Resursnyy potentsial proizvodstva zerna v Rossii (teoriya i praktika)*. [Resource potential of grain production in Russia (theory and practice)]. Moscow: OOO «Izdatel'stvo Agrorus», 2004. pp. 630-876.

2. Shapoval O. A., Mozharova I. P., Korshunov A. A. *Regulyatory rosta rasteniy v agrotekhnologiyakh*. [Plant growth regulators in agrotechnologies]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014;(6):16-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21561954>

3. Shapoval O. N., Mozharova I. P., Grabovskaya T. Yu. *Regulyatory rosta rasteniy v agrotekhnologiyakh osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. [Regulators of plant growth in agrotechnology of the main crops]. Moscow: VNIIA, 2015. 348 p.

4. Shapoval O. A. *Regulyatory rosta rasteniy v sel'skom khozyaystve*. [Plant growth regulators in agriculture]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2019;(4):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37185625>

5. Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. How Plants cope with water stress in the Field Photosynthesis and crown. *Annals of Botany*. 2002;89(7):907-916. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>

6. Azizbekyan R. R. *Biologicheskie preparaty dlya zashchity sel'skokhozyaystvennykh rasteniy (obzor)*. [Biological preparations for agricultural plants protection]. *Biotehnologiya = Biotechnology in Russia*. 2018;34(5):37-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47>

7. Petrichenko V. N., Loginov S. V., Turkina O. S. *K voprosu ispol'zovaniya kremniyorganicheskogo preparata Energiya-M na sel'skokhozyaystvennykh kul'turakh v raznykh klimaticheskikh zonakh RF dlya povysheniya urozhaynosti i kachestva produktsii*. [To the issue of the use of silicon organic drug Energy - M on crops in different climatic zones of the Russian Federation to increase yields and product quality]. *Proektnaya kul'tura i kachestvo zhizni*. 2018;(11):74-90. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41484547>

8. Petrichenko V. N., Turkina O. S. *Effektivnost' primeneniya kremniyorganicheskogo preparata Energiya-M s kompleksnymi vodorastvorimymi udobreniyami Akvarin i Rastvorin na stolovykh korneplodakh*. [Efficacy of organic-silicon preparation Energy-M with complex water soluble fertilizers Aquarin and Rastvorin for table roots]. *Zemledelie*. 2015;(5):27-30. (In Russ.).

9. Govorkova S. B., Gafurov R. M., Tsymbalova V. A., Kalabashkina E. V. *Izuchenie vliyaniya novogo regulyatora rosta rasteniy s retardatnymi svoystvami na stepen' poleganiya ozimoy pshenitsy*. [Examination of the effect of a new plant growth regulator with retardant properties on the lodging degree of winter wheat]. *Zemledelie*. 2019;(5):39-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10509>

10. Dorozhkina L. A. *Primenenie regulyatorov rosta i mikroudobreniy dlya povysheniya urozhaynosti i kachestva zerna zernovykh kul'tur v usloviyakh Ryazanskoy oblasti*. [Application of growth regulators and microfertilizers to improve the yield and quality of grain grains in the Ryazan region]. *Agrarnyy forum*. 2017;(7):13. (In Russ.).

11. Sinishin O. G., Shapoval O. A., Shulieva M. M. *Innovatsionnye regulyatory rosta rasteniy v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve*. [Innovative plant growth regulators in agricultural production]. *Plodородие*. 2016;(5):38-42. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27175740>

12. Okoro G. O., Onu O. B., Ngasoh F. G., Namessan N. The effect of climate change on abiotic plant stress: a review. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82681>

13. Zakharova M. N., Rozhkova L. V. *Osennee vnesenie gerbitsidov v posevy ozimoy pshenitsy*. [Autumn herbicides application to winter wheat]. *Vestnik rossiyской sel'skokhozyaystvennoy nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2020;(5):27-29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/5/27-29>

14. Zlotnikov A. K., Alekhin V. G., Khryukina E. I. *Antidotnaya aktivnost' regulatora rosta Al'bit pri sochetanii s razlichnymi funktsional'nymi gruppami pestitsidov*. [Antidote activity of the growth regulator Albit when combined with various functional groups of pesticides]. *Zemledelie*. 2008;(3):44-45. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Артемьева Елена Александровна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела сортовых агротехнологий в семеноводстве, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая,1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4124-0268>

Захарова Марина Николаевна, старший научный сотрудник отдела сортовых агротехнологий в семеноводстве, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая,1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9610-1743>

Рожкова Людмила Васильевна, научный сотрудник отдела сортовых агротехнологий в семеноводстве, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая,1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6399-707X>

Information about the authors

✉ **Elena A. Artemieva**, PhD in Biological Science, leading researcher, the Department of Varietal Agrotechnologies in Seed Production, Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya d. 1, s. Podvyazie, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4124-0268>

Marina N. Zakharova, senior researcher, the Department of Varietal Agrotechnologies in Seed Production, Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya d. 1, s. Podvyazie, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9610-1743>

Lyudmila V. Rozhkova, researcher, the Department of Varietal Agrotechnologies in Seed Production, Institute of Seed Production and Agricultural Technologies (ISA) – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya d. 1, s. Podvyazie, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6399-707X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

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

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.896-906>
УДК 664.6/.7:621.928.6



Исследование процесса извлечения высококрахмалистой фракции ржаной муки пневмоклассификацией

© 2021. Н. Р. Андреев , В. Г. Гольдштейн, В. А. Коваленок, Л. П. Носовская, Л. В. Адикаева, А. А. Мирошников

Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, Московская область, Российская Федерация

В статье дан обзор современного состояния применения твёрдофазных методов разделения структуры зернового и зернобобового сырья на составляющие компоненты как одного из актуальных направлений защиты окружающей среды и снижения объемов сточных вод предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственное сырьё. Отмечено преобладающее направление исследований по производству белковых концентратов из зернобобового сырья (горох, фасоль, нут, люпин) методом пневмоклассификации. Среди зерновых культур особо выделяется рожь, имеющая более сбалансированный аминокислотный состав, по сравнению с пшеницей, и крупные зерна крахмала до 60 мкм, что улучшает аэродинамическое разделение зерновой муки на белковую и крахмальную фракции, поэтому ржаная мука явилась объектом исследований в данной работе. Область исследований включала разработку метода определения содержания крахмала в тяжёлой фракции ржаной муки от доли выхода лёгкой белковой фракции и содержания в ней крахмала при использовании установки с изменяемыми параметрами двухкамерного диспергатора и вихревого классификатора. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены результаты опытов по разделению массы исходной ржаной муки на тяжёлую крахмальную и лёгкую белковую фракции с заданным соотношением крахмала и белка. Установлены зависимости содержания крахмала в тяжёлой фракции от числа циклов её рециркуляции. При изменяемых параметрах измельчения ржаной муки, определяемых скоростью рабочих органов диспергатора от 70 до 100 м/с, временем измельчения и рециркуляции тяжёлой фракции 30 с и окружной скорости ротора классификатора 15 м/с получены стабильные результаты по разделению крахмала и белка: выход тяжёлой фракции 72 % с содержанием крахмала 85 % и выход лёгкой фракции 28 % с массовой долей белка не менее 26 %.

Ключевые слова: зерновая мука, диспергирование, сухое сепарирование, крахмальная фракция, белковая фракция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (тема № 0585-2019-0004-С-01).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Андреев Н. Р., Гольдштейн В. Г., Коваленок В. А., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Мирошников А. А. Исследование процесса извлечения высококрахмалистой фракции ржаной муки пневмоклассификацией. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):896-906. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.896-906>

Поступила: 20.07.2021

Принята к публикации: 10.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Investigation of the process of extraction of a highly starchy fraction of rye flour by air classification

© 2021. Nikolay R. Andreev , Vladimir G. Goldstein, Vladimir A. Kovalenok, Liliya P. Nosovskaya, Larisa V. Adikaeva, Alexander A. Miroshnikov

All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow region, Russian Federation

The article provides an overview of the current state of the application of solid-phase methods for separating the structure of grain and leguminous raw material into constituent components, as one of the most relevant areas of environmental protection and reducing the amount of wastewater from enterprises processing agricultural raw materials. The main direction of research on the production of protein concentrates from leguminous raw materials (peas, beans, chickpeas, lupine) by the

method of air classification is noted. Among grain crops, rye stands out as having a more balanced amino acid composition compared to wheat and the largest starch grains up to 60 microns, which improves the aero-dynamic separation of grain flour into protein and starch fractions. Therefore, rye flour was the object of research in this work. The research area included the development of a method for determining the starch content in the heavy fraction of rye flour from the yield of its light protein fraction and its starch content using an installation with variable parameters of a two-chamber disperser and a vortex classifier. The results of experiments on the separation of the mass of the initial rye flour into heavy starch and light protein fractions with a given ratio of starch and protein are theoretically justified and experimentally confirmed. The dependences of the starch content in the heavy fraction on the number of cycles of its recycling are established. With variable parameters of grinding rye flour, determined by the speed of the working bodies of the dispersant from 70 to 100 m/s, the time of grinding and recirculation of the heavy fraction of 30 s and the tangential speed of the classifier rotor of 15 m/s, stable results were obtained for the separation of starch and protein. The yield of the heavy fraction of 72 % with a starch content of 85 % and the yield of the light fraction of 28 % with a mass fraction of protein of at least 26 %.

Keywords: grain flour; dispersion, dry separation, starch fraction, protein fraction

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 All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS (theme No. 0585-2019-0004-C-01).

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

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

For citations: Andreev N. R., Goldstein V. G., Kovalenok V. A., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Miroshnikov A. A. Investigation of the process of extraction of a highly starchy fraction of rye flour by air classification. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):896-906. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.896-906>

Received: 20.07.2021

Accepted for publication: 10.11.2021

Published online: 15.12.2021

Одним из актуальных направлений защиты окружающей среды и снижения объемов сточных вод предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственное сырьё, является исследование и применение твёрдофазных «сухих» методов разделения структуры сырья на составляющие его компоненты. При «сухом» способе зерновое и зернобобовое сырьё подвергается многостадийному измельчению и просеиванию для получения муки, которая затем подвергается диспергированию и пневмокласификации для разделения её на белковую и крахмальную фракции. Эффективность отделения белка от крахмала определяется процентным его содержанием в выделенных обеих фракциях, в процентах от общего содержания белка в муке [1, 2].

Предложены методы оценки тонкого измельчения и классификации и введено понятие «критической границы» разделения, представляющей собой такой размер частицы, при котором достигается максимальная четкость разделения продукта, т. е. количество крупных частиц в мелкой фракции и мелких в крупной является минимальным [3, 4], однако такой метод оценки не характеризует качество разделения на белковую и крахмальную фракции из-за совпадения размеров мелких и дроблёных зёрен крахмала с частицами белка.

Основное направление по разработке технологий и оборудования для измельчения и пневмокласификации материалов включает мельницу тонкого измельчения со встроенным

или выносным классификатором для разделения материала на крупную и мелкую фракции, в котором частицы фракций разделяются по размерам, форме и плотности, что используется для пневмокласификации измельчённого крахмалсодержащего сырья, состоящего из двух основных компонентов: крахмала до 80 % и белка от 8 до 50 %, в зависимости от вида зернового и зернобобового сырья.

Даже для одного вида сырья мягкой пшеницы разных сортов с исходным содержанием в муке белка 16,4, 12,1 и 8,2 % получены пневмокласификацией фракции с массовой долей белка 27,2, 21,5 и 17,4 %, то есть чем выше содержание белка в исходной муке, тем выше его в белковой фракции. Установлено, что средний размер частиц белковой фракции 17 мкм, а крахмальной фракции – 35 мкм [5].

При одноразовом измельчении и пневмокласификации не удаётся получить удовлетворительные результаты по выделению белковой фракции муки, поэтому многие исследования проводились в несколько стадий измельчения и пневмокласификации крупной фракции муки [6].

При двухстадийном измельчении и пневмокласификации гороховой муки с использованием дезинтегратора 250 СВ и классификатора 132 МР установлено, что после первой стадии, при исходном содержании крахмала в муке 72,4 % и белка 23,5 %, крупная фракция содержала крахмала 73,4 %, а после второй стадии 81,0 % [7].

С использованием высокоскоростного оборудования Hosokawa Alpine – дезинтегратора Mill ZPS и классификатора Turboplex ClassifierATP получено содержание белка в лёгкой фракции 50,9 %, а в крупной 11,8 %, при содержании в исходной гороховой муке 23,7 % белка. При измельчении и пневмоклассификации фасолевого муки, имеющей исходное содержание белка 37,8 %, получено содержание белка в лёгкой фракции 70,5 %, а в крупной 25 %¹.

Процесс пневмоклассификации очень чувствителен к степени измельчения муки, гранулометрическому составу крахмала и распределению его по фракциям [8, 9, 10].

На установке с диспергатором и выносным классификатором при порционной загрузке гороховой муки получены концентрат белка в количестве 8,5-9,5 % с массовой долей белка 60-64 % и крахмала в нём – 5,8-11,7 %, а выход тяжелой (крахмальной) фракции составил 90,5-91,5 % с массовой долей крахмала 68,5-70,1 % и белка 16,7-17,1 % [11].

Во ВНИИ зерна на установке пневмоклассификации проведены исследования по обогащению тритикалевой муки с использованием секционного центробежно-роторного пневмоклассификатора, осуществляющего диспергирование муки и разделение её на три фракции: первая фракция содержала наибольшее количество белка – до 28 %, углеводов до 55 %; вторая в среднем – 18 % белка и 66 % углеводов, а третья фракция – 6 % белка и 80 % углеводов. Скорость уноса частиц в пневмоклассификаторе составляла в пределах 1,5 м/с, окружная скорость ротора – 70 м/с [12].

При измельчении пшеничных и ржаных отрубей и овсяной лузги до размеров частиц менее 200 мкм и обработке на лабораторном пневмоклассификаторе получено от 30 до 37 % высокобелковой муки с содержанием белка 19,0 и 17,5 % [13].

Исследованиями по пневмоклассификации семи сортов ячменной муки, полученной при размоле голозерного, пленчатого, высокоамилозного ячменя с высокой массовой долей клетчатки, установлено, что во фракции с высоким содержанием крахмала его массовая доля составила 72-79 % для муки, полученной из традиционных и голозерных сортов ячменя. Во фракциях, обогащенных протеином, его

массовая доля для разных сортов составляла 14-26 % [1, 14].

Для производства высокобелковой муки, в большинстве случаев, направляют муку высшего сорта на дальнейшее измельчение в машины ударного действия, отличающиеся сложностью конструкции и высокой энергоёмкостью [15, 16].

В области сухого способа разделения структуры измельчённого сырья на фракции по размерам, форме и плотности частиц требуется проведение экспериментальных исследований влияния факторов диспергирования и пневмоклассификации на эффективность разделения.

Цель исследования – повышение содержания крахмала в тяжёлой фракции и белков в лёгкой фракции ржаной муки для эффективного их использования в производстве пищевых продуктов.

Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении установления зависимостей разделения крахмальных и белковых фракций от факторов диспергирования и пневмоклассификации ржаной муки.

Материал и методы. Материалом для изучения служила мука ржаная ГОСТ 7045-2017: белок $7,5 \pm 0,5$ %, жир $1,4 \pm 0,2$ %, крахмал $73,4 \pm 1,1$ %.

Исследования проводили с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО): массовая доля влаги (ГОСТ 13586) на весовом влагомере MF-50 (AND); массовая доля белка (ГОСТ 10842) – на приборе K-424 (BUCHI Labortechnik AG); массовая доля крахмала (ГОСТ 10845) – с использованием поляриметра Polartronic-N (Schmidt Haensch).

Для проведения исследований во ВНИИ крахмалопродуктов [7] разработана и изготовлена установка ПДУ-380 для измельчения муки (рис. 1). Установка включает двухкамерный диспергатор 1, центробежный классификатор 5, фильтр 7 с вентилятором и сборником 11 лёгкой фракции, клапан 9 выгрузки и рециркуляции тяжёлой крупной фракции. Степень уноса лёгкой фракции зависит от регулируемой (11...18 м/с) окружной скорости крыльчатки классификатора и от разрежения, создаваемого вентилятором фильтра 7, что позволяет вести обработку с рециркуляцией грубой фракции муки.

¹Eggenmüller M. Secrets of protein enrichment in pulses and the challenge of digitalization. Starch Convention and Bioethanol and Bioconversion Technology Meeting. Detmold, 2021.

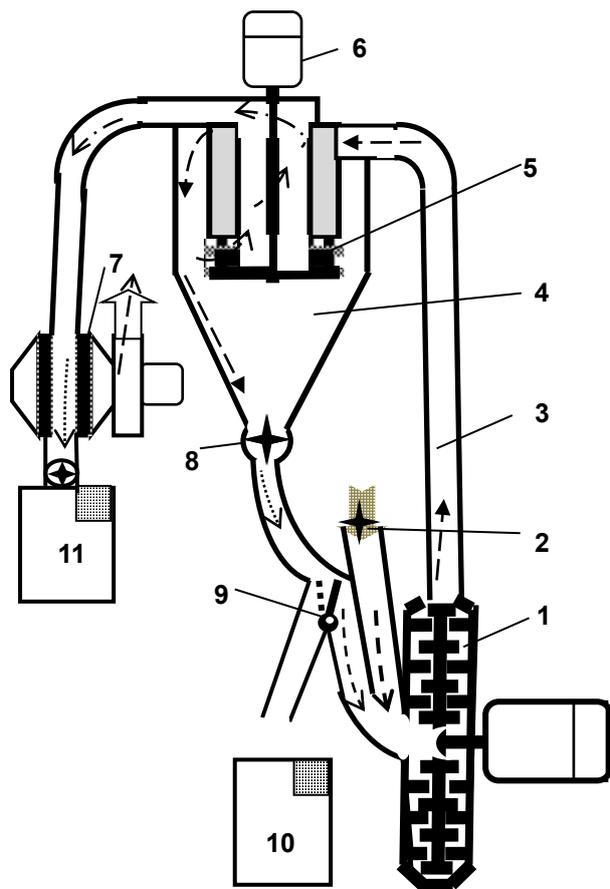


Рис. 1. Схема и фото установки ПДУ-380 для измельчения и пневмокласификации муки: 1 – диспергатор, 2 – патрубок загрузки муки, 3 – воздуховод, 4 – циклон, 5 – классификатор, 6 – электродвигатель, 7 – фильтр, 8 – шлюзовый затвор, 9 – клапан перекидной, 10 – сборник тяжёлой фракции, 11 – сборник лёгкой фракции /

Fig. 1. Scheme and photo of the PDI-380 plant for grinding and air classification of flour: 1–dispersant, 2 – flour loading pipe, 3 – air duct, 4 – cyclone, 5 – air classifier, 6 – electric motor, 7 – filter, 8 – sluice gate, 9 – swing valve, 10 – heavy fraction collector, 11– fine fraction collector

Исследования проводили в 3-кратной повторности. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента, различия считали достоверными при пороге надёжностей $B1 = 0,95$ с уровнем статистической зависимости $p \leq 0,05$. Рассчитывали средние значения (M) и ошибки средних значений ($\pm m$). Для графического построения трехмерных зависимостей полученных результатов использована программа TableCurve 3D.

Область исследований. Для оценки эффективности измельчения крахмалсодержащего сырья и пневмокласификации муки предложен метод определения выхода тяжёлой фракции и содержания в ней крахмала от доли лёгкой фракции и содержания в ней крахмала, исходя из равенства:

$$Q_o k_o = Q_f \cdot k_f + Q_t k_t, \quad (1)$$

где Q_o – масса исходной муки; k_o – содержание крахмала в исходной муке; Q_f – доля лёгкой фракции; k_f – содержание крахмала в лёгкой фракции; Q_t – доля тяжёлой фракции; k_t – содержание крахмала в тяжёлой фракции определится:

$$k_t = (Q_o \cdot k_o - Q_f \cdot k_f) / Q_o - Q_f. \quad (2)$$

При постоянных значениях Q_o k_o содержание крахмала в тяжёлой фракции k_t полностью определится выходом лёгкой фракции Q_f и содержанием в ней крахмала k_f . При содержании в исходной диспергированной муке 75 % крахмала распределение его по тяжёлой и лёгкой фракциям при граничных условиях: $10 < Q_f < 30$ % и $60 > k_f > 10$ имеет вид, представленный на рисунке 2, из которого следует, что максимальное значение содержания крахмала в тяжёлой фракции более 85 % может

быть достигнуто при уносе лёгкой фракции >30 % и содержании крахмала в ней < 40 %, что определяет условия проведения опытов и

исходные требования к параметрам рабочих органов диспергатора и классификатора муки.

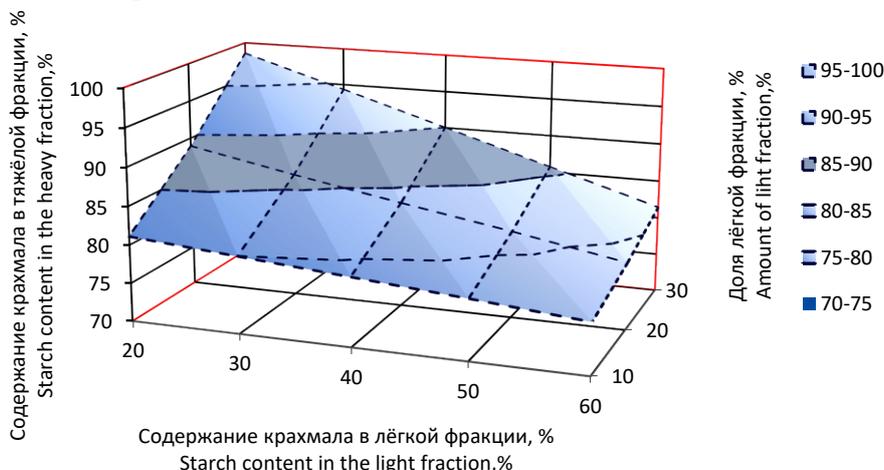


Рис. 2. Прогнозируемое распределение крахмала в тяжёлой и лёгкой фракциях при пневмокласификации диспергированной муки /

Fig. 2. The predicted distribution of starch in the heavy and light fractions in the air classification of dispersed flour

Результаты и их обсуждение. Влияние числа стадий диспергирования и пневмокласификации ржаной муки на разделение тяжёлой и лёгкой фракций. На экспериментальной установке ПДУ-380 (рис. 1) с установленными параметрами окружной скорости ударных органов ротора диспергатора 90 м/с и крыльчатки ротора классификатора 15 м/с порция муки ($Q_o = 500$ г) с содержанием крахмала $k_o = 73$ % загружалась в диспергатор с производительностью 150 г/мин, затем диспергированная мука в виде воздушной смеси по трубопроводу выдувалась в разгрузочный циклон с классификатором 5, верхний сход которого Q_f собирался в фильтре 7 как белковая фракция, в которой определяли содержание крахмала k_f , а нижний сход Q_i из циклона 4, через шлюзовый раствор 8 и перекидной клапан 9 собирался в ёмкость 10 и, после взвешивания и отбора пробы для определения содержания крахмала k_i , снова загружался в диспергатор на второй помол, затем процесс диспергирования и классификации со взвешиванием и отбором проб повторялся 5 раз. Полученные результаты по содержанию крахмала во фракциях приведены в таблице 1.

При анализе распределения масс фракций отмечается падение выхода лёгкой фракции с 26,2 до 3,7 %, соответственно и уменьшение выхода тяжёлой фракции. Из результатов опытов следует, что для получения высококрахмалистой фракции муки на установке

ПДУ-380 достаточно трёхкратной рециркуляции тяжёлой фракции.

Для определения эффективности разделения диспергированной ржаной муки проведена серия опытов планируемого трёхфакторного эксперимента при изменяемых параметрах измельчения муки, определяемых скоростью рабочих органов диспергатора (V_d от 80 до 100 м/с) и классификатора (V_k от 13 до 17 м/с) при времени измельчения 60 с и рециркуляции тяжёлой фракции с анализом состава лёгкой Q_f и тяжёлой Q_i фракций и содержания в них крахмала (k_i, k_f) и белка (b_i, b_f). Результаты опытов представлены в таблице 2.

С использованием программы Table-Curve 3D получены зависимости выхода тяжёлой фракций Q_i и содержания в них крахмала k_i от независимых переменных V_d, V_k , представленных на рисунках 3 и 4.

Максимальный выход тяжёлой фракций Q_i достигается при минимальной скорости ротора диспергатора 80 м/с и максимальной скорости крыльчатки классификатора 17 м/с, и в заданном диапазоне изменения скоростей выражается формулой:

$$Q_i = 178,9 - 1,633 \cdot V_d + 2,583 \cdot V_k. \quad (3)$$

В то время как максимальное содержание крахмала в тяжёлой фракции при $V_i = 100$ м/с и $V_k = 13$ м/с составляет:

$$k_i = 66,85 + 0,263 \cdot V_d - 0,383 \cdot V_k. \quad (4)$$

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

*Таблица 1 – Изменение содержания крахмала во фракциях ржаной муки в зависимости от стадий диспергирования и пневмокласификации при массе исходной муки (Q_0) 500 г и содержании в ней крахмала (k_0) 365 г /
Table 1 – Changes in the starch content in rye flour fractions depending on the number of dispersion and air classification stages for sample mass Q_0 -500g with starch content k_0 – 365g*

<i>Стадии диспергирования и пневмокласификации / Dispersion and air classification stages</i>	<i>Масса продукта нижнего схода с циклона, $Q_l(z)$ / Mass of the product of the lower descent from the cyclone, Q_l (g)</i>	<i>Массовая доля крахмала в продукте нижнего схода с циклона, $k_l(z)$ / Mass fraction of starch in the product of the lower descent from the cyclone, k_l (g)</i>	<i>Выход лёгкой фракции, % / Light fraction yield, %</i>	<i>Масса продукта верхнего схода с циклона, собранного на фильтре, $Q_f(z)$ / Mass of the product of the upper descent from the cyclone collected on the filter; Q_f(g)</i>	<i>Массовая доля крахмала в продукте верхнего схода с циклона, $k_f(z)$ / Mass fraction of starch in the product of the upper descent from the cyclone, k_f (g)</i>
1	396±27	308±13	26,2±1,3	104,2±6,8	57,1±1,9
2	330±21	264±10	20,3±1,4	66,7±7,5	38,0±1,5
3	300±17	246±15	10,1±1,0	30,5±6,2	18,5±1,3
4	280±15	235±12	7,1±0,8	20,4±5,3	12,8±1,1
5	270±17	229±11	3,7±0,4	10,9±4,1	7,3±0,6

*Таблица 2 – Аналитические характеристики крахмальной и белковой фракций ржаной муки в зависимости от окружной скорости роторов диспергатора и пневмокласификатора /
Table 2 – Analytical characteristics of starch and protein fractions of rye flour depending on the tangential speed of the dispersant rotor and the air classifier*

<i>№ опыта / No. of experiment</i>	V_d	V_k	k_t	b_t	Q_t	k_f	b_f	Q_f
1	80	13	83,0±6,3	6,9±0,2	80,2±2,7	41,8±2,7	33,0	19,8
2		15	82,0±5,1	7,2±0,2	88,1±2,1	41,6±0,8	33,1±1,1	11,9±2,1
3		17	81,5±6,0	7,3±0,2	92,4±3,3	41,4±0,9	33,2±1,0	7,6±3,3
4	90	13	85,7±3,6	6,3±0,2	65,5±1,9	44,4±0,7	32,0±0,8	34,5±1,9
5		15	84,9±5,8	6,7±0,2	72,8±2,3	42,3±0,7	32,6±1,1	27,2±2,3
6		17	83,8±4,4	6,8±0,2	77,1±3,7	41,9±0,8	32,8±1,2	22,9±3,7
7	100	13	88,0±4,3	5,4±0,2	50,5±2,1	60,4±0,6	23,5±0,9	49,5±2,1
8		15	87,5±2,9	5,6±0,2	55,3±2,5	54,5±0,7	24,9±1,1	44,7±2,5
9		17	86,8±5,1	5,9±0,2	57,6±2,4	51,3±0,9	27,2±1,3	42,4±2,4

Примечание: V_d – окружная скорость ротора диспергатора, м/с; V_k – окружная скорость ротора пневмокласификатора, м/с; k_t – массовая доля крахмала в тяжёлой фракции, % СВ; b_t – массовая доля белка в тяжёлой фракции, % СВ; Q_t – массовая доля тяжёлой фракции, % к исходной массе муки; k_f – массовая доля крахмала в лёгкой фракции, % СВ; b_f – массовая доля белка в легкой фракции, % СВ; Q_f – массовая доля легкой фракции, % к исходной массе муки /

Note: V_d – is the tangential speed of the dispersant rotor, m/s; V_k – is the tangential speed of the air classifier rotor, m/s; k_t – is the mass fraction of starch in the heavy fraction, % of dry matter; b_t – is the mass fraction of protein in the heavy fraction, % of dry matter; Q_t – is the mass part of the heavy fraction, % of the initial mass of flour; k_f – is the mass part of starch in the light fraction part, % of dry matter; b_f – is the mass part of protein in the light fraction, % of dry matter; Q_f – is the mass part of the light fraction, % of the initial mass of flour.

Максимальное содержание крахмала в тяжёлой фракции составило 88 % при времени измельчения и пневмокласификации муки 60 с, окружной скорости ротора диспергатора 100 м/с и ротора классификатора 13 м/с при выходе тяжёлой (крахмалистой) фракции 50,5 %. Минимальное содержание крахмала

в лёгкой фракции составило 41,4 % при времени диспергирования и пневмокласификации муки 60 с, окружной скорости ротора диспергатора 80,0 м/с и ротора классификатора 17 м/с, выход лёгкой фракции составил 7,6 % от общей массы муки.

$$z = a + bx + cy$$

$r^2 = 0.99146021$ DF Adj $r^2 = 0.98633634$ FitStdErr = 1.5898987 Fstat = 348.2967
 $a = 178.91667$ $b = -1.6333333$
 $c = 2.5833333$

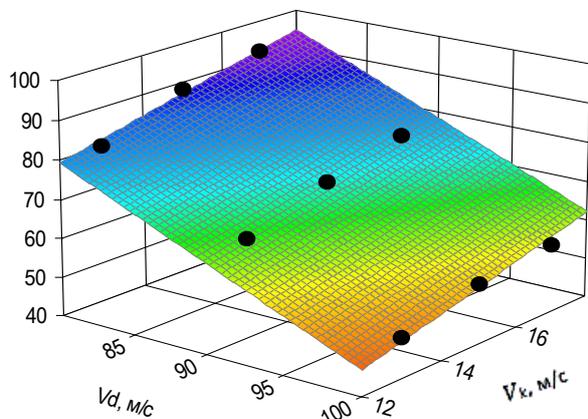


Рис. 3. Зависимость массовой доли тяжёлой фракции Q_b , % от окружной скорости ротора диспергатора V_d , м/с и окружной скорости ротора пневмокласификатора V_k , м/с /

Fig. 3. Dependence of the mass part fraction of the heavy fraction Q_b , % on the tangential speed of the dispersant rotor V_d , m/s and the tangential speed of the rotor of the air classifier V_k , m/s

$$z = a + bx + cy$$

$r^2 = 0.99588114$ DF Adj $r^2 = 0.99340983$ FitStdErr = 0.17638342 Fstat = 725.35714
 $a = 66.85$ $b = 0.26333333$
 $c = -0.38333333$

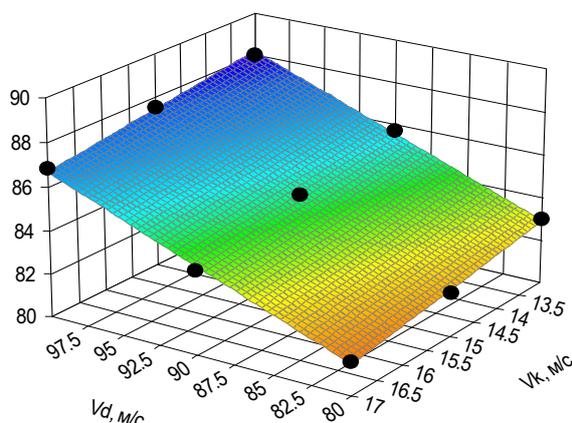


Рис. 4. Зависимость массовой доли крахмала в тяжёлой фракции k_i , % от окружной скорости ротора диспергатора V_d , м/с и окружной скорости ротора классификатора V_k , м/с /

Fig. 4. Dependence of the mass fraction of starch in the heavy fraction k_i , % on the tangential speed of the dispersant rotor V_d , m/s and the tangential speed of the air classifier rotor V_k , m/s.

Установленные зависимости выхода крахмальной фракции ржаной муки от параметров рабочих органов экспериментальной установки ПДУ-380 позволяют получить высококрахмалистую ржаную муку с заданным выходом 70...60 % и содержанием крахмала 83...88 %, что соответствует прогнозируемым результатам планируемого эксперимента с использованием метода определения эффективности разделения тяжёлой и лёгкой фракций по содержанию в них крахмала (рис. 2).

Из полученных данных следует, что теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены результаты опытов по разделению массы исходной ржаной муки на тяжёлую

крахмальную и лёгкую белковую фракции с заданным соотношением крахмала и белка.

Получены характеристики крахмальной и белковой фракций ржаной муки в сравнении с исходной мукой: по белизне, растворимости, содержанию растворимых веществ и золы. Отмечено более высокое содержание растворимых веществ, золы в белковой фракции. Содержание золы и растворимых веществ в белковой фракции более чем в 3 раза больше, чем в крахмальной. Растворимость и набухаемость диспергированной высококрахмалистой и исходной муки определяли при 20 °С в течение суток. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная оценка физико-химических свойств диспергированной и исходной ржаной муки / Table 3 – Comparative assessment of the physico-chemical properties of the dispersed and initial rye flour

Продукт / Product	Массовая доля / Mass fraction		Белизна муки, ед. приб. / The whiteness of flour, units
	зола, % на СВ / of ash, % on dry matter	растворимых веществ, % / of soluble substances, %	
Исходная мука / Raw flour	2,2	8	74,4±0,1
Высококрахмалистая фракция муки / High-starch flour fraction	0,5±0,1	7,0±1,4	81,0±0,1
Белковая фракция муки / Protein fraction flour	1,8±0,6	18,6±3,3	72±0,2

По показателям растворимости и набухаемости высококрахмалистая мука не отличается от исходной. Наибольшее значение белизны (81,0 ед. приб.) у высококрахмалистой фракции, в ней меньше содержится белковых, минеральных веществ и мелкой мезги, чем в исходной муке.

Высококрахмальные фракции, полученные при диспергировании и пневмокласификации ржаной муки, являются перспективным сырьём для получения набухающих крахмалопродуктов и мальтодекстринов [17].

Выводы. Для оценки эффективности измельчения и пневмокласификации муки крахмалсодержащего сырья предложен метод по установлению зависимости доли тяжёлой фракции и содержания в ней крахмала от доли выхода лёгкой фракции и содержания в ней крахмала. Теоретически максимальное значение содержания крахмала в тяжёлой фракции более 85 % может быть достигнуто при уносе

лёгкой фракции 30 % и содержании крахмала в ней < 40 %.

При многократном диспергировании и пневмокласификации тяжёлой фракции ржаной муки отмечается падение выхода лёгкой фракции в 5 раз и повышение в ней относительного содержания крахмала, что связано с дроблением крупных зёрен крахмала, поэтому для получения высококрахмалистой фракции ржаной муки достаточно трёхкратной рециркуляции тяжёлой фракции.

Высокобелковую ржаную муку с массовой долей белка до 28 % рекомендовано использовать в хлебопечении, а крахмальную ржаную муку с массовой долей крахмала 85 % целесообразно переработать на модифицированные набухающие крахмалопродукты, и при ферментативном гидролизе крахмала можно производить мальтодекстрин и кормовой углеводно-белковый продукт, что экономически более выгодно, чем из кукурузной муки и кукурузного крахмала.

Список литературы

1. Pelgrom P. J. M., Boom R. M., Schutyser M. A. I. Method Development to Increase Protein Enrichment During Dry Fractionation of Starch-Rich Legumes. Food and Bioprocess Technology. 2015;8(7):1495-1502. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1513-0>
2. Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Витол И. С., Кандроков Р. Х. Актуальные направления технологического развития мукомольной отрасли. Пищевая промышленность. 2017;(8):44-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29851470>
3. Gómez M., Martínez M. M. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. Journal of Cereal Science. 2015; 67(7):67-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.009>
4. Silventoinen P., Sipponen M. H., Holopainen U., Poutanen K. Use of air classification technology to produce protein-enriched barley ingredients. Journal of Food Engineering. 2018;222:169-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.016>
5. Martín-García B., Verardo V., Cerio E. D., Gómez-Caravaca A. M., Marconi E., Caboni M. F. Air classification as a useful technology to obtain phenolics-enriched buckwheat flour fractions. LWT-Food Science and Technology. 2021;150:111893. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111893>
6. Rempel C., Geng X., Zhanga Y. Industrial scale preparation of pea flour fractions with enhanced nutritive composition by dry fractionation. Food Chemistry. 2019;276:119-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.003>

7. Xing Q., Utami D. P., Dematthey M. B., Xing Q., Dea Anisa Putri D. A., Dematthey M. B. A two-step air classification and electrostatic separation process for protein enrichment of starch-containing legumes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020;66:102480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102480>
8. Schutyser M. A. I., Pelgrom P. J. M., van der Goot A. J., Boom R. M. Dry fractionation for sustainable production of functional legume. *Trends in Food Science & Technology*. 2015;45(2):327-335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.013>
9. Mayer-Laigle C., Barakat A., Barron C., Delenne J., Frank X., Mabilille F., Sadoudi A., Samson M.-F., Lullien-Pellerin V. DRY biorefineries: Multiscale modeling studies and innovative processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018;46:131-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.006>
10. Khan K., Shrewry P. R. Wheat: Chemistry and Technology. AACCC International, Inc. USA, 2016. pp. 119-152.
11. Андреев Н. Р., Ковалёнок В. А., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Гольдштейн В. Г. Изучение процесса пневмокласификации гороховой муки на экспериментальной установке. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020;(11):43-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32330880>
12. Смирнов С. О., Урубков С. А., Невская Е. В. Разработка технологии разделения тритикалевой муки на белковые и углеводные фракции при использовании центробежно-роторного пневмокласификатора. Роль тритикале в стабилизации производства зерна, кормов и технологии их использования: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. Агротехника, кормопроизводство, физиология, технология и продукты переработки зерна. Ростов-на-Дону: изд-во Юг, 2016. С. 217-234. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27324628&selid=27324705>
13. Андреев Н. Р., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Карпенко Т. Р. Разделение зерновой муки на крахмалистую и белковую фракции пневмокласификацией. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(11):108-111. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24998935>
14. Gomez-Caravaca A. M., Verardoc V., Candigliota T., Marconi E., Carretero A. S., Fernández-Gutiérrez A., Caboni M. F. Use of air classification technology as green process to produce functional barley flours naturally enriched of alkylresorcinols, β -glucans and phenolic compounds. *Food Research International*. 2015;73:88-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.016>
15. Кирсанов В. А., Бердник В. М., Кирсанов М. В., Коломиец Р. В. Расчет технологических и конструктивных параметров пневмокласификатора сыпучих материалов. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2017;(4):81-85. DOI: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2017-4-81-85>
16. Assatory A., Vitelli M., Rajabzadeh A. R. Dry Fractionation Methods for Plant Protein, Starch and Fiber Enrichment: A Review. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:340-351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.006>
17. Ананских В. В., Шлеина Л. Д. Мальтодекстрины из крахмалосодержащего сырья, их качество и использование в отраслях пищевой промышленности. *Кондитерское и хлебопекарное производство*. 2018;(7-8):50-52. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35729600>

References

1. Pelgrom P. J. M., Boom R. M., Schutyser M. A. I. Method Development to Increase Protein Enrichment During Dry Fractionation of Starch-Rich Legumes. *Food and Bioprocess Technology*. 2015;8(7):1495-1502. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1513-0>
2. Pankratov G. N., Meleshkina E. P., Vitol I. S., Kandrov R. Kh. *Aktual'nye napravleniya tekhnologicheskogo razvitiya mukomol'noy otrasli*. [Current trends of technological development of the production of milling industry and food processing industry]. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2017;(8):44-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29851470>
3. Gómez M., Martínez M. M. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *Journal of Cereal Science*. 2015; 67(7):67-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.009>
4. Silventoinen P., Sipponen M. H., Holopainen U., Poutanen K. Use of air classification technology to produce protein-enriched barley ingredients. *Journal of Food Engineering*. 2018;222:169-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.016>
5. Martín-García B., Verardo V., Cerio E. D., Gómez-Caravaca A. M., Marconi E., Caboni M. F. Air classification as a useful technology to obtain phenolics-enriched buckwheat flour fractions. *LWT - Food Science and Technology*. 2021;150:111893. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111893>
6. Rempel C., Geng X., Zhang Y. Industrial scale preparation of pea flour fractions with enhanced nutritive composition by dry fractionation. *Food Chemistry*. 2019;276:119-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.003>

7. Xing Q., Utami D. P., Dematthey M. B., Xing Q., Dea Anisa Putri D. A., Dematthey M. B. A two-step air classification and electrostatic separation process for protein enrichment of starch-containing legumes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020;66:102480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102480>
8. Schutyser M. A. I., Pelgrom P. J. M., van der Goot A. J., Boom R. M. Dry fractionation for sustainable production of functional legume. *Trends in Food Science & Technology*. 2015;45(2):327-335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.013>
9. Mayer-Laigle C., Barakat A., Barron C., Delenne J., Frank X., Mabilie F., Sadoudi A., Samson M.-F., Lullien-Pellerin V. DRY biorefineries: Multiscale modeling studies and innovative processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018;46:131-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.006>
10. Khan K., Shrewry P. R. *Wheat: Chemistry and Technology*. AACC International, Inc. USA, 2016. pp. 119-152.
11. Andreev N. R., Kovalenok V. A., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Gol'dshteyn V. G. *Izuchenie protsessy pnevmoklassifikatsii gorokhovoy muki na eksperimental'noy ustanovke*. [The study of the process of air classification of pea flour in a pilot plant]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2020;(11):43-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32330880>
12. Smirnov S. O., Urubkov S. A., Nevskaya E. V. *Razrabotka tekhnologii razdeleniya tritikalevoy muki na belkovye i uglevodnye fraktsii pri ispol'zovanii tsentrobezno-rotornogo pnevmoklassifikatora*. [Development of a technology for separating triticale flour into protein and carbohydrate fractions using a centrifugal-rotary pneumatic classifier]. *Rol' tritikale v stabilizatsii proizvodstva zerna, kormov i tekhnologii ikh ispol'zovaniya: mat-ly. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [The role of triticale in the stabilization of grain production, feed and technology of their use: Proceedings of the International scientific and practical Conference]. Part. 2. *Agrotekhnika, kormoproizvodstvo, fiziologiya, tekhnologiya i produkty pererabotki zerna*. [Agrotechnics, feed production, physiology, technology and grain processing products]. Rostov-na-Donu: *izd-vo Yug*, 2016. C. 217-234. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27324628&selid=27324705>
13. Andreev N. R., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Karpenko T. R. *Razdelenie zernovoy muki na krakhmaliystuyu i belkovuyu fraktsii pnevmoklassifikatsiyey*. [Separation of grain flour to protein and starch fraction by pneumatic sorting]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(11):108-111. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24998935>
14. Gomez-Caravaca A. M., Verardoc V., Candigliota T., Marconi E., Carretero A. S., Fernández-Gutiérrez A., Caboni M. F. Use of air classification technology as green process to produce functional barley flours naturally enriched of alkylresorcinols, β -glucans and phenolic compounds. *Food Research International*. 2015;73:88-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.016>
15. Kirsanov V. A., Berdnik V. M., Kirsanov M. V., Kolomiets R. V. *Raschet tekhnologicheskikh i konstruktivnykh parametrov pnevmoklassifikatora sypuchikh materialov*. [Calculation of technological and construction parameters of pneumatic classifier bulk materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki = Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Technical Sciences Series*. 2017;(4):81-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2017-4-81-85>
16. Assatory A., Vitelli M., Rajabzadeh A. R. Dry Fractionation Methods for Plant Protein, Starch and Fiber Enrichment: A Review. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:340-351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.006>
17. Ananskikh V. V., Shleina L. D. *Mal'todekstriny iz krakhmalosoderzhashchego syr'ya, ikh kachestvo i ispol'zovanie v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti*. [Maltodextrins from starch-containing raw materials, their quality and use in the food industry]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo*. 2018;(7-8):50-52. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35729600>

Сведения об авторах

✉ **Андреев Николай Руфеевич**, член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, д.11, д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vnii@arrisp.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8312-8135>

Гольдштейн Владимир Георгиевич, кандидат техн. наук, зав. отделом, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, д.11, д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vnii@arrisp.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Коваленок Владимир Александрович, доктор техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, д.11, д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1742-7695>

Носовская Лилия Петровна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, д.11, д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>

Адикаева Лариса Владимировна, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, д.11, д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>

Мирошников Александр Анатольевич, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, д.11, д.п. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5488-3900>

Information about the authors

✉ **Nikolay R. Andreev**, corresponding member of RAS, DSc in Engineering, chief researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8312-8135>

Vladimir G. Goldstein, PhD in Engineering, leading researcher, Head of the Department, All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

Vladimir A. Kovalenok, DSc in Engineering, professor, leading researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1742-7695>

Liliya P. Nosovskaya, senior researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0973-0408>

Larisa V. Adikaeva, researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3858-9071>

Alexander A. Miroshnikov, associate researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products – Branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: yniik@arrisp.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5488-3900>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Зависимость поверхностного натяжения фруктовых пюре от температурного воздействия

© 2021. А. К. Пацюк, Т. В. Федосенко, В. В. Кондратенко, М. В. Лукьяненко ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, г. Видное, Московская область, Российская Федерация

При разработке продуктов питания, обладающих новыми свойствами, с применением инновационных технологий важным является получение данных о физико-химических, теплофизических и структурно-механических свойствах обрабатываемых пищевых сред. Так, одной из ключевых составляющих при подборе режима коллапсирующей ультразвуковой кавитации является поверхностное натяжение растительных пюре. В работе представлены данные исследования (2020 год) по влиянию температуры на коэффициент поверхностного натяжения фруктового пюре разной вязкости. Объектами исследований выбраны алычовое, грушевое и яблочное пюре, объединённые в ряд по вязкости. Коэффициент поверхностного натяжения определяли сталагмометрическим методом, для чего пюре предварительно центрифугировали. Измерения проводили при температурах 25 и 35 °С. Установлено, что при равных условиях центрифугирования доля супернатанта у грушевого пюре заметно выше – 77,37 % к массе пюре по сравнению с алычовым (67,20 %) и яблочным (52,75 %). Этот факт может объясняться наличием в первом каменных клетках, образующих несжимаемый осадок, позволяющий в большей степени разделить дисперсную фазу (осадок) и дисперсионную среду (супернатант). Установлено, что коэффициент поверхностного натяжения фруктовых пюре, несмотря на незначительное отличие, уменьшается с увеличением температуры. Анализ крутизны наклона кривой, характеризующей влияние температуры на коэффициент поверхностного натяжения, показал, что стабилизация температуры при технологической обработке в большей степени потребуется для грушевого пюре.

Ключевые слова: натуральное фруктовое пюре, вязкость, температура, коэффициент поверхностного натяжения

Благодарности: статья профинансирована Министерством науки и высшего образования РФ и подготовлена в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» (тема FNEN-20219-00015).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пацюк Л. К., Федосенко Т. В., Кондратенко В. В., Лукьяненко М. В. Зависимость поверхностного натяжения фруктовых пюре от температурного воздействия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):907-917. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.907-917>

Поступила: 04.08.2021

Принята к публикации: 23.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Dependence of surface tension of fruit puree on temperature exposure

© 2021. Lyubov K. Patsyuk, Tatiana V. Fedosenko, Vladimir V. Kondratenko, Maria V. Lukyanenko ✉

Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems at RAS, Vidnoe, Moscow region, Russian Federaton

When developing food products with new properties using innovative technologies, it is important to obtain data on the physicochemical, thermal-physical and structural-mechanical properties of the processed food media. So, one of the key components in the selection of the mode of collapsing ultrasonic cavitation is the surface tension of vegetable purees. The paper presents research data (2020) on the effect of temperature on the surface tension coefficient of fruit puree of different viscosity. The objects of research are cherry plum, pear and apple puree, combined in a row by viscosity. The surface tension coefficient was determined by the stalagmometric method, for which the puree was preliminarily centrifuged. The measurements were carried out at temperatures of 25 and 35 °C. It was found that, under equal conditions of centrifugation of puree, the proportion of supernatant in pear puree is noticeably higher – 77.37 % to the weight of puree in comparison with cherry plum puree (67.20 %) and apple puree (52.75 %). This fact can be explained by the presence of stony cells in the former which form an incompressible sediment, which allows a greater separation of the dispersed phase (sediment) and the dispersion medium (supernatant). It was found that the coefficient of surface tension of fruit purees, despite the slight difference, decreases with increasing temperature. Analysis of the steepness of the slope of the curve characterizing the effect of temperature on the surface tension coefficient showed that temperature stabilization during technological processing is more required for pear puree.

Keywords: natural fruit puree, viscosity, temperature, surface tension coefficient

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 V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at RAS (theme FNEN-20219-00015).

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: Patsyuk L. K., Fedosenko T. V., Kondratenko V. V., Lukyanenko M. V. Dependence of surface tension of fruit puree on temperature exposure. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):907-917. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.907-917>

Received: 04.08.2021

Accepted for publication: 23.11.2021

Published online: 15.12.2021

Создание инновационных технологий и оборудования для разработки и внедрения новых видов пищевой продукции требует в полной мере использовать комплекс закономерностей теплофизических, физико-химических и структурно-механических параметров обрабатываемых систем в применяемых условиях [1].

Особую актуальность в настоящее время приобретает применение физических методов воздействия на пищевые системы, приводящие к модификации физико-химических свойств полупродуктов и готовых продуктов [2, 3]. К физическим методам воздействия на пищевые системы, способствующим появлению новых свойств последних, с успехом можно отнести и ультразвуковую кавитацию. Для обеспечения воспроизводимости свойств пищевых систем, прошедших ультразвуковую обработку (кавитацию), необходимо управлять обратной связью (откликом) пищевой системы на направляемое в её адрес ультразвуковое воздействие. На этом этапе появляется необходимость получения данных о свойствах обрабатываемой среды, таких как теплопроводность, плотность, вязкость, дисперсность, поверхностное натяжение.

Среди ключевых факторов, влияющих на эффективность работы ультразвуковой кавитации при обработке пищевых сред, можно отметить коэффициент поверхностного натяжения [4, 5]. Ввиду того, что этот фактор зависит от температуры обрабатываемой среды, важное значение приобретает установление характера этой зависимости. Установлено, что при увеличении температуры с 20 до 30 °С коэффициент поверхностного натяжения молочных продуктов, например сливок, резко снижается, по достижении 50 °С он стабилизируется, а при дальнейшем нагревании вновь происходит его резкое уменьшение. При этом на величину поверхностного натяжения оказывает влияние и жирность сливок: чем выше жирность, тем выше поверхностное натяжение, тем в меньшей степени влияет на этот показатель изменение температуры [6].

При исследованиях теплофизических свойств фруктовых соков в Азербайджанском государственном экономическом университете была установлена прямая зависимость коэффициента поверхностного натяжения гранатового сока от температуры нагревания и концентрации сухих веществ в нём [7]. Кроме того, экспериментальным путем подтверждена линейная зависимость коэффициента поверхностного натяжения от плотности гранатового сока, что позволяет вывести математическую формулу, по которой может быть рассчитан коэффициент поверхностного натяжения в зависимости от плотности [8].

Известны исследования, проводимые в Кемеровском технологическом университете пищевой промышленности по определению теплофизических свойств (плотность, вязкость, коэффициент поверхностного натяжения) водных экстрактов из ягод: клюквы, рябины, боярышника, голубики, шиповника. По полученным данным описаны математические зависимости между поверхностным натяжением и температурой нагревания, исходя из которых могут быть рассчитаны необходимые энергозатраты и с их учетом разработано оборудование для экстракции сырья [9, 10].

При трёхступенчатом добавлении сахара в виноградное сусло в процессе брожения установлено, что на поверхностное натяжение оказывает влияние содержание объемной доли спирта и количество добавляемого сахара. Чем они больше, тем ниже поверхностное натяжение [11, 12]. Влияние присутствия в исследуемых средах поверхностно активных веществ показано и в работах [13, 14].

Исследований о влиянии температуры на коэффициент поверхностного натяжения жидкообразных пищевых сред, таких как пюре из фруктов и овощей, не так много, что не позволяет в полной мере прогнозировать изменение их физико-химических показателей при технологической обработке [15, 16, 17].

Цель исследований – определение коэффициента поверхностного натяжения в экспериментальных образцах фруктовых пюре в зависимости от температуры нагревания для дальнейшего применения при определении оптимального режима коллапсирующей ультразвуковой кавитации.

Новизна исследований состоит в определении степени влияния нагревания различных фруктовых пюре в процессе обработки ультразвуковой кавитацией в режиме создания коллапса с целью обеспечения её стабильности.

Материал и методы. Исследования выполнены в 2020 г. В качестве объектов исследования выбраны монокомпонентные натуральные фруктовые пюре: алычовое, грушевое, яблочное. Пюре изготовлены на оборудовании лабораторного технологического стенда по классической технологии. Визуально объекты исследований различались следующим образом: алычовое пюре – наименее вязкое, яблочное – наиболее вязкое, грушевое – среднее по вязкости.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения пюре подвергали предварительной подготовке: из образцов удаляли

дисперсную фазу центрифугированием в течение 20 минут с фактором разделения 8000g для исключения ограниченной текучести. Супернатант фильтровали через складчатый обеззоленный фильтр «красная лента». Для образцов фильтрата определяли коэффициент поверхностного натяжения сталагмометрическим методом¹ в сравнении с водой. Плотность пюре устанавливали пикнометрическим методом². Для определения влияния температуры на величину поверхностного натяжения образцы нагревали на водяной бане до 25 и 35 °С, затем переносили в измерительную бюретку. Фактическое значение температуры образцов на момент измерения контролировали с помощью предварительно калиброванного пирометра Optris MS (Optris, Китай) в области выхода каплей образца.

Результаты и их обсуждение. На этапе предварительной подготовки при центрифугировании образцов наблюдался разный выход супернатанта (табл. 1), так у грушевого пюре этот показатель в сравнении с другими исследуемыми объектами максимален и составил 77,37 %, что может объясняться строением тканей плода груши (рис. 1)³.

Таблица 1 – Выход супернатанта при центрифугировании фруктовых пюре / Table 1 – Supernatant yield during centrifuging fruit purees

Наименование пюре / Name of puree	Средняя масса, г / Average weight, g		Выход супернатанта, % к массе образца / Supernatant yield, % by weight of the sample	Массовая доля сухих веществ (растворимых), % / Mass fraction of dry substances (soluble), %
	пюре / puree	фильтрата / filtrate		
Алычовое (наименее вязкое) / Cherry plum (least viscous)	48,07	32,30	67,20	9,5
Грушевое (среднее по вязкости) / Pear (average viscosity)	47,13	36,47	77,37	14,5
Яблочное (наиболее вязкое) / Apple (most viscous)	47,11	24,85	52,75	9,6

Наличие каменистых клеток в плодах груши позволяет в большей степени разделить дисперсную фазу (твёрдый осадок) от дисперсионной среды (супернатант), о чём, в том числе, свидетельствует и высокое содержание растворимых сухих веществ – 14,5 %.

Низкий выход супернатанта при центрифугировании у яблочного пюре – 52,75 % может объясняться составом мякоти плода

яблока. В разных сортах яблок может содержаться от 0,62 % (Грушевка московская) до 1,18-1,44 % (Ренет Симиренко) пектиновых веществ [18, 19], что при той же центробежной силе не позволяет в полной мере разделить дисперсную фазу от дисперсионной среды. В плодах груши сумма пектиновых веществ достигает 0,64-0,98 % [20, 21].

¹Miller R., Fainerman V. The drop volume technique. In: Drops and Bubbles in Interfacial Research. Amsterdam, New York: Elsevier, 1998. Pp. 139-186.

²ГОСТ 33276-2015. Продукция соковая. Методы определения относительной плотности. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122905>

³Оболочка растительной клетки. [Электронный ресурс]. URL: http://e-lib.gasu.ru/eposobia/papina/bolprak/R_2_3.html (дата обращения: 22.07.2021).

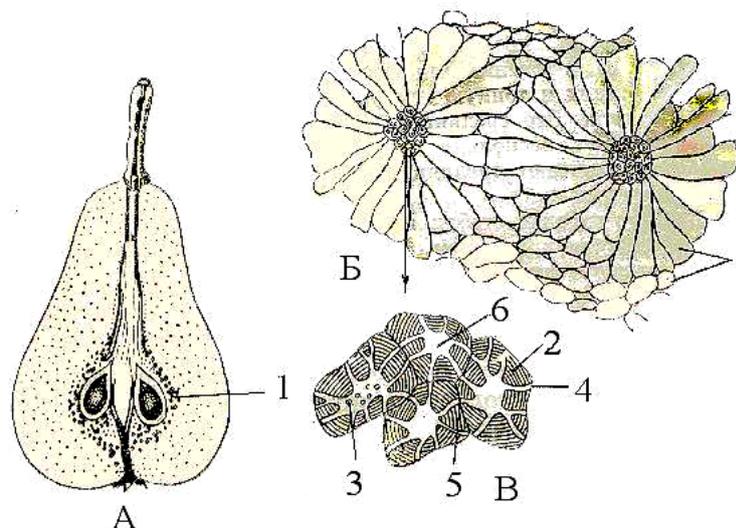


Рис. 1. Каменистые клетки плода груши обыкновенной⁴: А – плод груши (продольный разрез); Б – каменистые клетки при малом увеличении; В – при большом увеличении; 1 – паренхимные клетки мякоти, 2 – оболочка клетки, 3 – простая пора в плане, 4 – простая пора в разрезе, 5 – связь между порами соседних клеток, 6 – полость клетки /

Fig. 1. Stony fetal cells *Pyrus communis*: А – pear fruit (longitudinal section); Б – stony cells at low magnification; В – at high magnification; 1 – parenchymal cells of the pulp, 2 – cell membrane, 3 – simple pore in plan, 4 – simple pore in section, 5 – connection between the pores of neighboring cells, 6 – cell cavity

У алычового пюре содержание сухих веществ в супернатанте практически равно яблочному, но выход его выше на 14,45 % и составляет 67,20 %. Как и в двух предыдущих видах фруктов, в алыче содержатся пектиновые вещества в количестве от 0,75 % (сорт Никитская жёлтая) до 1,10 % (сорт Идиллия) [22].

В данном случае такое различие в выходе супернатанта может объясняться меньшим содержанием углеводов в пюре (табл. 2).

Разница консистенции осадков фруктовых пюре заметна и при визуальном наблюдении (рис. 2).



Рис. 2. Консистенция фруктовых пюре в зависимости от вида: 1 – до центрифугирования, 2 – после центрифугирования: а – алычовое, б – грушевое, в – яблочное /

Fig. 2. The consistency of fruit purees, depending on the type: 1 – before centrifugation, 2 – after centrifugation: a – cherry plum, b – pear, c – apple

⁴Там же.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Таблица 2 – Химический состав 100 г нативных фруктовых пюре⁵ /
Table 2 – Chemical composition of 100 g of native fruit purees

Наименование компонента / Component name	Наименование пюре / Name of puree		
	алычовое / cherry plum	грушевое / pear	яблочное / apple
Углеводы, г / Carbohydrates, g	9,70	10,80	10,80
Пищевые волокна, г / Dietary fiber, g	1,80	3,60	1,70
Сахара, г / Sugar, g	7,80	6,98	9,87
Минералы / Minerals			
К, мг / mg	188,00	130,00	71,00
Ca, мг / mg	27,00	8,00	4,00
Mg, мг / mg	21,00	8,00	3,00
Na, мг / mg	17,00	1,00	-
P, мг / mg	25,00	12,00	7,00
Fe, мг / mg	1,90	0,24	0,22
Cu, мг / mg	-	0,07	0,04
Se, мкг / mcg	-	0,40	0,30
F, мкг / mcg	-	1,00	1,00
Zn, мкг / mcg	-	0,08	0,02
Витамины / Vitamins			
Бета-каротин, мкг / Beta-carotene, mcg	-	9,00	12,00
Бета-криптоксантин, мкг / Beta-cryptoxanthin, mcg	160,00	1,00	9,00
Лютеин и зеаксантин, мкг / Lutein and zeaxanthin, mcg	-	36,00	17,00
E, мг / mg	0,30	0,09	0,60
K, мкг / mcg	-	3,20	0,50
C, мг / mg	13,00	24,50	38,30
B ₁ , мг / mg	0,02	0,01	0,01
B ₂ , мг / mg	0,03	0,03	0,03
B ₅ , мг / mg	-	0,09	0,11
B ₆ , мг / mg	-	0,01	0,03
B ₉ , мкг / mcg	-	4,00	2,00
Фолаты природные, мкг / Natural folates, mcg	-	4,00	2,00
Фолаты ДЭФ, мкг / Folate DEF, mcg	-	4,00	2,00
PP, мг / mg	0,50	0,19	0,06
B ₄ , мг / mg	-	3,60	3,40

Анализируя рисунок 2, можно предположить, что в реальных условиях при кавитационной обработке фруктовых пюре консистенция дисперсной фазы может влиять на поверхностное натяжение дисперсионной среды. Возможно, в большей степени это будет оказывать заметное влияние именно в грушевом пюре, так как наличие каменистых клеток,

образующих так называемый несжимаемый осадок, создаст дополнительную активизацию диспергирования при ультразвуковой кавитации, эффективность которой при обработке алычового и яблочного пюре с целью их диспергирования может быть заметно ниже ввиду наличия пектиновых веществ, образующих аморфный осадок при центрифугировании.

⁵Химический состав фруктовых пюре. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intelmeal.ru/nutrition/foodinfo-babyfood-fruit-applesauce-strained.php> (дата обращения: 22.07.2021).

Дальнейшие исследования проводили с фильтратом дисперсионной среды. Ввиду отклонения фактической температуры исследуемых образцов при проведении измерений по повторностям, результаты эксперимен-

тальных данных были усреднены как по значениям активного фактора (температуры), так и по значениям коэффициента поверхностного натяжения (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние температуры фруктовых пюре на коэффициент поверхностного натяжения / Table 3 – Effect of the temperature of fruit purees on the surface tension coefficient

Наименование пюре / Name of puree	Температура, °C / Temperature, °C		Коэффициент поверхностного натяжения, $\times 10^{-3}$ Н/м / Surface tension coefficient, $\times 10^{-3}$ N/m	
	среднее / medium	$\pm SD^*$	среднее / medium	$\pm SD^*$
Алычовое / Cherry plum	24,00	0,00	132,00	0,00
	34,30	4,95	127,00	2,83
Грушевое / Pear	22,15	0,07	145,00	14,14
	32,58	1,06	137,00	4,24
Яблочное / Apple	22,60	0,00	151,50	0,71
	32,00	2,12	149,50	0,71

* SD – стандартное отклонение / * SD – standard deviation

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать вывод о том, что с повышением температурного воздействия во всех экспериментальных образцах коэффициент поверхностного натяжения уменьшается, что согласуется с существующими представлениями о влиянии температурного воздействия на поверхностное натяжение жидкости. Для применения указанного влияния на практике, на наш взгляд, более важным, с точки зрения научного интереса, являются количественные характеристики этого влияния.

По химическому составу фильтраты фруктовых пюре, как и все растительные полуфабрикаты, являются многокомпонентными системами, в составе которых органические кислоты, минеральные соединения, витамины, растворимые пищевые волокна, сахара и другие. Это обстоятельство затрудняет применение уравнения, предложенного Л. Этвешом⁶. Для описания зависимости коэффициента поверхностного натяжения использована формула [23, 24]:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \left(1 - \frac{T}{T_{cr}}\right)^{11/9}, \quad (1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; σ_0 – критическое значение σ (при

критической температуре), Н/м; T – температура, °C; T_{cr} – критическая температура, °C; $11/9$ – учитывает отталкивание молекул органических веществ на близких расстояниях из-за наличия «собственного объёма».

Так как формула (1) является модификацией линейного уравнения, для построения зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры достаточно двух усреднённых значений при разных температурах.

На рисунке 3 представлено графическое отображение зависимости коэффициента поверхностного натяжения объектов исследования (алычового, грушевого, яблочного пюре) от температурного воздействия.

Анализ отклика исследуемых объектов может быть произведён по критическому значению коэффициента поверхностного натяжения (σ_0), критической температуре (T_{cr}) и крутизне наклона кривой ($|tg \alpha|$), которая может быть выражена формулой:

$$|tg \alpha| = \frac{11 \cdot \sigma_0}{9 \cdot T_c} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_{cr}}\right)^{2/9}. \quad (2)$$

Расчётные значения показателей сведены в таблицу 4.

⁶Марков И. И., Хрынина Е. И., Камениченко Е. И., Иванов М. Н. О характере температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения жидкой фазы. Журнал физической химии. 2008;82(6):1196-1200. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10008448>

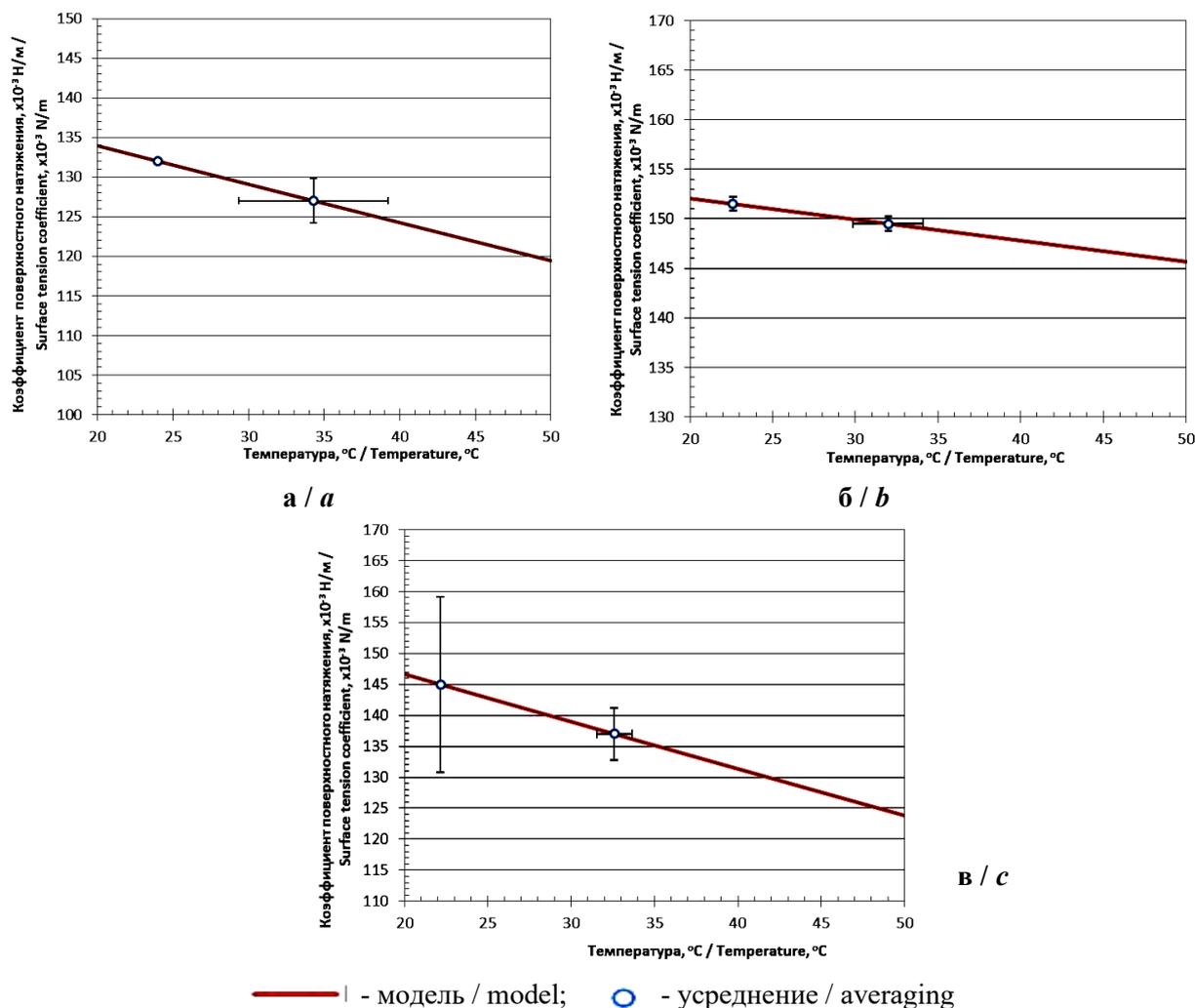


Рис. 3. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры пюре: а – алычового; б – яблочного; в – грушевого /

Fig. 3. Dependence of the surface tension coefficient on the temperature of puree: a – cherry plum; b – apple; c – pear

Таблица 4 – Критические показатели зависимости коэффициента поверхностного натяжения фруктовых пюре от температуры /

Table 4 – Critical Indicators of the Temperature Dependence of the Surface Tension Coefficient of Fruit Purees

Наименование пюре / Name of puree	Показатель температурной зависимости / Temperature dependence indicator		$ \text{tg } \alpha _{20}$
	$\sigma_0, \times 10^{-3} \text{ Н/м} / \sigma_0, 10^{-3} \text{ N/m}$	$T_{cr}, ^{\circ}\text{C}$	
Алычовое / Cherry plum	143,78	355,2	0,4871
Грушевое / Pear	162,26	252,0	0,7710
Яблочное / Apple	156,33	891,8	0,2130

Примечания: σ_0 – критическое значение коэффициента поверхностного натяжения, T_{cr} – критическая температура, $|\text{tg } \alpha|_{20}$ – крутизна наклона кривой /

Notes: σ_0 – critical value of the surface tension coefficient, T_{cr} – critical temperature, $|\text{tg } \alpha|_{20}$ – slope of the curve

Из данных таблицы 4 видно, что по критическому значению коэффициента поверхностного натяжения (σ_0) яблочное и грушевое пюре достаточно близки. По реперной темпе-

ратуре и крутизне наклона кривой все три вида пюре имеют заметные отличия. Стоит отметить, что яблочное пюре по критической температуре имеет максимальное значение, что

может быть следствием более высокого содержания пектиновых веществ (растворимых пищевых волокон), в то время как пищевые волокна груши могут в большей степени оставаться в осадке при центрифугировании.

Показатель крутизны наклона кривой может характеризовать темп изменения условий для поддержания стабильного технологического режима, в том числе ультразвуковой кавитации. Так, при обработке грушевого пюре, крутизна наклона кривой которого среди представленных объектов имеет максимальное

значение, потребуется чаще других стабилизировать процесс к оптимальным условиям.

Заключение. Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать вывод о том, что коэффициент поверхностного натяжения фруктовых пюре уменьшается с увеличением температуры. Анализ крутизны наклона кривой, характеризующей влияние температуры на коэффициент поверхностного натяжения, показал, что стабилизация температуры при технологической обработке в большей степени необходима для грушевого пюре.

Список литературы

1. Петров А. Н., Шишкина Н. С., Пацюк Л. К., Алабина Н. М., Борченкова Л. А., Глазков С. В. Получение новых видов продуктов с применением кавитационной обработки. Холодильная техника. 2017;(8):54-59. Режим доступа: http://www.holodteh.ru/wp-content/uploads/xt_08_17.pdf
2. Пацюк Л. К., Федосенко Т. В., Кондратенко В. В. Изучение автономного процесса инверсии сахара за счёт термического воздействия при ультразвуковой обработке овощных и фруктовых пюре. Овощи России. 2020;(5):93-96. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-93-96>
3. Духу Т. А., Щербаква Н. А., Остапенкова Н. А., Савенкова Т. В., Аксёнова Л. М. Новые физические способы обработки кондитерских масс. Принципы пищевой комбинаторики – основа моделирования поликомпонентных пищевых продуктов: сб. мат-лов Всерос. научн. практич. конф. Углич: ВНИИКП, 2010. С. 85-87.
4. Savenkova T. V., Karimov A. R., Taleysnik M. A., Gerasimov T. V., Kondratev N. B. Mechanisms of destruction and synthesis of liquid media, used in the food industry under non-equilibrium conditions. Food systems. 2019;2(4):38-41. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-38-41>
5. Хмелёв В. Н., Шалунов А. В., Голых Р. Н., Шалунова А. В. Выявление оптимальных режимов и условий ультразвукового воздействия для распыления вязких жидкостей. Электронный журнал «Техническая акустика». 2011;10. Режим доступа: <http://www.ejta.org/en/khmelev9>
6. Бурыкин А. И. Поверхностное натяжение молочных продуктов. Молочная промышленность. 2012;(5):22-23. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17675078>
7. Магеррамов М. А. Теплофизические свойства натурального гранатового сока. Хранение и переработка сельхозсырья. 2005;(4):27.
8. Магеррамов М. А. Температуропроводность и поверхностное натяжение гранатового сока при температурах 10-90 °С. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2006;(5(294)):68-71. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12857537>
9. Сорокопуд В. В., Плотников И. Б., Плотникова Л. В. Теплофизические характеристики водных и водно-спиртовых экстрактов ягод клюквы и голубики. Химия растительного сырья. 2014;(3):255-258. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22884310>
10. Суменков М. В., Сорокопуд А. Ф. Физико-химические свойства экстрактов ягод клюквы. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2016;(1):118-125. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2016-9-1-118-125>
11. Бурда В. Е., Панов Д. А. Изменение химического состава ликёра в процессе ступенчатого приготовления. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. 2012;25(64)(2):219-223. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25135645>
12. Бурда В. Е., Панов Д. А. Изменение физико-химических свойств виноградных сусел при поэтапном приготовлении резервуарных ликеров. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. 2013;26(65)(2):206-210. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25005399>
13. Асадов А. Ш. Изучение влияния температуры на поверхностное натяжение водных растворов поверхностно активных веществ (ПАВ). Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018;(7):22-24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35199466>
14. Григорьев Б. В., Важин Д. А., Кузина О. А. Влияние концентрации ПАВ водных растворов и температуры на коэффициент поверхностного натяжения. Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016;2(3):35-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28351950>

15. Мордасов М. М., Савенков А. П., Чечетов К. Е. Методика исследования взаимодействия струи газа с поверхностью жидкости. Журнал технической физики. 2016;86(5):20-29.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27368395>
16. Муратова Е. И., Смолихина П. М. Реология кондитерских масс. Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 188 с.
17. Karbowski T., Debeaufort F., Voilley A. Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2006;46(5):391-407.
DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390591000884>
18. Табаторович А. Н., Резниченко И. Ю. Особенности химического состава яблочного пюре как основа идентификации. Техника и технология пищевых производств. 2015;(3(38)):153-159.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24249176>
19. Кварацхелия В. Н., Родионова Л. Я. Изменение аналитических характеристик пектиновых веществ яблок зимнего срока созревания при длительном влиянии низких температур. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014;(100):1193-1203.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21799479>
20. Смелик Т. Л., Можар Н. В., Авдеева Ю. В. Химический состав плодов груши, произрастающей на Юге Краснодарского края. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2014;(28(4)):8-17.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21732027>
21. Созаева Д. Р., Джабоева А. С., Шаова Л. Г., Цагоева О. К. Содержание пектинов в различных видах плодовых культур и их физико-химические свойства. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016;(2):170-174. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26774425>
22. Гребенникова О. А., Полонская А. К., Горина В. М., Ежов В. Н. Биохимическое обоснование перспективных направлений использования плодов алычи. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2007;(95):69-74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24293749>
23. Guggenheim E. A. The Principle of Corresponding States. J. Chem. Phys. 1945;(13):253-261.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1724033>
24. Mjalli F. S., Vakili-Nezhaada Gh., Shahbaz K., AlNashef I. M. Application of the Eötvös and Guggenheim empirical rules for predicting the density and surface tension of ionic liquids analogues. Thermochemica Acta. 2014;575:40-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.10.017>

References

1. Petrov A. N., Shishkina N. S., Patsyuk L. K., Alabina N. M., Borchenkova L. A., Glazkov S. V. *Poluchenie novykh vidov produktov s primeneniem kavitatsionnoy obrabotki*. [Obtaining of new products using cavitation processing]. *Kholodil'naya tekhnika*. 2017;(8):54-59. (In Russ.). URL: http://www.holodteh.ru/wp-content/uploads/xt_08_17.pdf
2. Patsyuk L. K., Fedosenko T. V., Kondratenko V. V. *Izuchenie avtonomnogo protsessa inversii sakharozy za schet termicheskogo vozdeystviya pri ul'trazvukovoy obrabotke ovoshchnykh i fruktovykh pyure*. [Study of the autonomous process of inversion of sugarose through thermal influence at ultrasonic processing of vegetable and fruit pures]. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2020;(5):93-96. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-93-96>
3. Dukhu T. A., Shcherbakova N. A., Ostapenkova N. A., Savenkova T. V., Aksenova L. M. *Novye fizicheskie sposoby obrabotki konditerskikh mass*. [New physical methods of processing confectionery masses]. *Printsipy pishchevoy kombinatoriki – osnova modelirovaniya polikomponentnykh pishchevykh produktov: sb. mat-lov Vseros. nauchn. praktich. konf.* [Principles of food combinatorics - the basis for modeling polycapnent food products: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conf.]. Uglich: VNIKP, 2010. pp. 85-87.
4. Savenkova T. V., Karimov A. R., Taleysnik M. A., Gerasimov T. V., Kondratev N. B. Mechanisms of destruction and synthesis of liquid media, used in the food industry under non-equilibrium conditions. Food systems. 2019;2(4):38-41. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-38-41>
5. Khmelev V. N., Shalunov A. V., Golykh R. N., Shalunova A. V. *Vyyavlenie optimal'nykh rezhimov i usloviy ul'trazvukovogo vozdeystviya dlya raspilyeniya vyazkikh zhidkostey*. [Optimal modes and conditions of ultrasonic effect for atomization of viscous liquids]. *Elektronnyy zhurnal «Tekhnicheskaya akustika»* = Electronic Journal Technical Acoustics. 2011;10. (In Russ.). URL: <http://www.ejta.org/en/khmelev9>
6. Burykin A. I. *Poverkhnostnoe natyazhenie molochnykh produktov*. [Surface tension of milk products]. *Molochnaya promyshlennost'* = Dairy Industry. 2012;(5):22-23. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17675078>
7. Magerramov M. A. *Teplofizicheskie svoystva natural'nogo granatovogo soka*. [Thermophysical properties of natural pomegranate juice]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2005;(4):27. (In Russ.).
8. Magerramov M. A. *Temperaturoprovodnost' i poverkhnostnoe natyazhenie granatovogo soka pri temperaturakh 10-90 °S*. [Thermal diffusivity and surface tension of pomegranate juice at temperatures of 10-90 °C]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = Food Technology. 2006;(5(294)):68-71. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12857537>

9. Sorokopud V. V., Plotnikov I. B., Plotnikova L. V. *Teplofizicheskie kharakteristiki vodnykh i vodno-spirovnykh ekstraktov yagod klyukvy i golubiki*. [Thermal and physical characteristics of aqueous and aqueous-alcoholic extracts of cowberry and blueberry]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2014;(3):255-258. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22884310>

10. Sumenkov M. V., Sorokopud A. F. *Fiziko-khimicheskie svoystva ekstraktov yagod klyukvy*. [Physico-chemical properties of cranberry extract]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»* = Scientific journal NRU ITMO. Series "Processes and Food Production Equipment". 2016;(1):118-125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2016-9-1-118-125>

11. Burda V. E., Panov D. A. *Izmenenie khimicheskogo sostava likera v protsesse stupenchatogo prigotovleniya*. [The chemical composition of liqueur change in the process of step preparation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya, khimiya* = Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry. 2012;25(64)(2):219-223. (In Ukraine). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25135645>

12. Burda V. E., Panov D. A. *Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv vinogradnykh susel pri po etapnomu prigotovleniiu rezervuarnykh likerov*. [The Changes in the physic-chemical properties of grape musts by a phased reservoir liquor preparation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya, khimiya* = Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry. 2013;26(65)(2):206-210. (In Ukraine). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25005399>

13. Asadov A. Sh. *Izuchenie vliyaniya temperatury na poverkhnostnoye natyazhenie vodnykh rastvorov poverkhnostno aktivnykh veshchestv (PAV)*. [Searching of the influence of temperature on surface tension of water solutions of surface-active substances (SAW)]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2018;(7):22-24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35199466>

14. Grigor'ev B. V., Vazhin D. A., Kuzina O. A. *Vliyanie kontsentratsii PAV vodnykh rastvorov i temperatury na koeffitsient poverkhnostnogo natyazheniya*. [The effect of SAS concentration in the water solution and temperature on the surface tension]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika* = Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy. 2016;2(3):35-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28351950>

15. Mordasov M. M., Savenkov A. P., Chechetov K. E. *Metodika issledovaniya vzaimodeystviya strui gaza s poverkhnost'yu zhidkosti*. [Method for analyzing the gas jet impinging on a liquid surface]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* = Technical Physics. 2016;86(5):20-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27368395>

16. Muratova E. I., Smolikhina P. M. *Reologiya konditerskikh mass*. [Rheology of confectionery masses]. Tambov: *FGBOU VPO «TGTU»*, 2013. 188 p.

17. Karbowiak T., Debeaufort F., Voilley A. Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2006;46(5):391-407. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390591000884>

18. Tabatorovich A. N., Reznichenko I. Yu. *Osobennosti khimicheskogo sostava yablochnogo pyure kak osnova identifikatsii*. [Peculiarities of chemical composition of apple puree as the basis for identification]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2015;(3(38)):153-159. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24249176>

19. Kvaratskheiliya V. N., Rodionova L. Ya. *Izmenenie analiticheskikh kharakteristik pektinovykh veshchestv yablok zimnego sroka sozrevaniya pri dlitel'nom vliyaniu nizkikh temperatur*. [Changing the analytical characteristics of pectin substances apples winter ripening under long influence of low temperatures]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2014;(100):1193-1203. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21799479>

20. Smelik T. L., Mozhar N. V., Avdeeva Yu. V. *Khimicheskiiy sostav plodov grushi, proizrastayushchey na Yuge Krasnodarskogo kraja*. [The chemical composition of pear fruits, growing in the south of Krasnodar region]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* = Fruit growing and viticulture of South Russia. 2014;(28(4)):8-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21732027>

21. Sozaeva D. R., Dzhaboeva A. S., Shaova L. G., Tsagoeva O. K. *Soderzhanie pektinov v razlichnykh vidakh plodovykh kul'tur i ikh fiziko-khimicheskie svoystva*. [The pectin content in different types of fruit crops and their physicochemical characteristics]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2016;(2):170-174. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26774425>

22. Grebennikova O. A., Polonskaya A. K., Gorina V. M., Ezhov V. N. *Biokhimicheskoe obosnovanie perspektivnykh napravleniy ispol'zovaniya plodov alychi*. [The biochemical reasons of perspective directions in using the cherry-plum fruits]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens. 2007;(95):69-74. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24293749>

23. Guggenheim E. A. The Principle of Corresponding States. J. Chem. Phys. 1945;(13):253-261.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1724033>

24. Mjalli F. S., Vakili-Nezhaada Gh., Shahbaz K., AlNashef I. M. Application of the Eötvös and Guggenheim empirical rules for predicting the density and surface tension of ionic liquids analogues. Thermochemica Acta. 2014;575:40-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.10.017>

Сведения об авторах

Пацюк Любовь Карповна, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6395-5312>

Федосенко Татьяна Васильевна, научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7345-1799>

Кондратенко Владимир Владимирович, кандидат техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

✉ **Лукьяненко Мария Викторовна**, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д.78, г. Видное, Московская область, Российская Федерация, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2842-3713>, e-mail: sci@vniitek.ru

Information about the authors

Lyubov K. Patsyuk, leading researcher, the Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federaton, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6395-5312>

Tatiana V. Fedosenko, researcher, the Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federaton, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7345-1799>

Vladimir V. Kondratenko, PhD in Engineering, associate professor, Deputy Director for Research, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federaton, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

✉ **Maria V. Lukyanenko**, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology – branch of V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at RAS, st. Shkolnaya, 78, Vidnoe, Moscow region, Russian Federaton, 142703, e-mail: vniitek@vniitek.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2842-3713>, e-mail: sci@vniitek.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.918-927>
УДК 632.937



Влияние состава питательных сред на продуктивность и биологическую активность штамма энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana*

© 2021. И. Э. Шарапова ✉

Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Российская Федерация

Проведен анализ продуктивности и биологической активности штамма энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana* F-145 при жидкофазном культивировании на различных питательных средах для получения биопестицидного препарата в нативной форме (исследования проведены в 2019 году). Для культивирования глубинным способом в качестве компонентов питательной среды использованы отходы молочного и пивного производства (молочная сыворотка и пивная барда) с добавлением дизельного топлива (ДТ) или Твин-80 в качестве индукторов биологической активности. Установлено, что продуктивность штамма на средах с промышленными отходами была выше в 1,5-2,0 раза, чем на среде Чапека. В 5-суточной суспензии на основе смеси сыворотки и барды отмечен высокий выход мицелиальной массы с титром 10^8 - 10^{10} КОЕ/мл. Определена биологическая активность культуральной суспензии штамма. Показано, что нематоцидная активность штамма *B. bassiana* в отношении нематод *Rhabditis* sp. в значительной степени проявлялась в суспензии, полученной на смешанной среде с добавлением индукторов. За 1-2 суток инкубации тест-организма гибель подвижной стадии нематод составила более 90 %. Сложный состав питательной среды, содержащей отходы и индукторы, способствовал сохранности биологической активности штамма. Установлена нематоцидная активность штамма на уровне 67-80 % с титром 10^6 - 10^7 КОЕ/мл при хранении суспензии в течение 67 суток.

Ключевые слова: культивирование, промышленные отходы, продуктивность, нематоцидная активность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания АААА-А19-119031390055-1.

Автор благодарит за помощь в работе сотрудника Института биологии Коми НЦ УрО РАН Алексея Александровича Кудрина.

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

Конфликт интересов: автор подтверждает отсутствие конфликта интересов.

Для цитирования: Шарапова И. Э. Влияние состава питательных сред на продуктивность и биологическую активность штамма энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana*. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):918-927. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.918-927>

Поступила: 06.09.2021 Принята к публикации: 22.11.2021 Опубликована онлайн: 15.12.2021

Influence of the composition of nutrient media on the productivity and biological activity of the strain of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*

© 2021. Irina E. Sharapova ✉

A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Center of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation

The productivity and biological activity of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (F-145) strain during the liquid-phase cultivation on various substrates for developing a biopesticide in its native form was analyzed (the research was carried out in 2019). For submerged cultivation, by-products from dairy and beer production (milk whey and brewing spent grain liquor) were used as components of the nutrient medium with addition of diesel fuel (DF) and Tween-80 as inducers of biological activity. It has been established, that the productivity of the strain on industrial by-product substrates was 1.5-2 times higher than on the Czapek medium. A high yield of a mycelial biomass with a titer of 10^8 - 10^{10} CFU/ml was shown in a 5-day suspension based on a mixture of milk whey and brewing spent grain liquor. The biological activity of the culture suspension of the strain was determined. It was shown that the nematocidal activity of *Beauveria bassiana* strain with regard to nematodes of the *Rhabditis* sp. was largely manifested in a suspension obtained on a mixed medium with the addition of inducers. Ninety per cent death at mobile nematode stages was registered within one or two days of test-organism incubation.

A complex nutrient medium composition containing by-products and inducers contributed to the preservation of the biological activity of the strain. The strain nematicidal activity was established at the level of 67-80 per cent with a titer of 10^6 - 10^7 CFU/ml when the suspension was stored for 67 days.

Keywords: cultivation, industrial by-products, productivity, nematicidal activity

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 AAAA-A19-119031390055-1.

The author is grateful to the colleague from the Institute of Biology of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Alexei A. Kudrin, for his assistance.

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

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

For citations: Sharapova I. E. Influence of the composition of nutrient media on the productivity and biological activity of the strain of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):918-927. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.918-927>

Received: 06.09.2021

Accepted for publication: 22.11.2021

Published online: 15.12.2021

Значительные потери производства урожая сельскохозяйственных культур в мире связаны с ущербом, который наносят вредители растений [1]. Использование микроорганизмов в качестве основы биопестицидных препаратов позволяет контролировать численность фитофагов, ограничивая вспышки размножения [2]. Преимуществами таких препаратов является то, что биопестициды оказывают значительно меньшее по сравнению с синтетическими пестицидами воздействие на нецелевые объекты, а также являются экологически безопасными [3, 4].

В число наиболее изучаемых агентов микробиологической борьбы с вредоносными насекомыми входят энтомопатогенные грибы *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. [5]. Инсектицидная активность этих мускардинных грибов действует на представителей отрядов Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Orthoptera и Acarina в различных фазах развития насекомого (личинки и имаго) [6]. Энтомопатогены связаны с насекомыми, как паразиты, за счет синтеза кутикуледеградирующих ферментов (протеазы, липазы, хитиназы), а также токсинов и метаболитов, отвечающих за контактную инсектицидную активность [6, 7]. Эффективность паразитирования характеризуется стратегией поражения насекомых-хозяев, а также разнообразием факторов вирулентности (степень токсигенности и секреции различных гидролитических ферментов) и в значительной степени зависит от видо- и штаммоспецифичности [8, 9]. Подобно большинству мускардинных энтомопатогенов *B. bassiana* инициирует заражение путем прорастания прикрепляющейся к кутикуле насекомого-хозяина споры или конидии, а также действия комплекса ферментов, которые составляют его инфективность [6]. Осуществлять инвазию эти грибы способны не только через кутикулу, но и через пищевой

тракт и дыхательные пути, размножаясь в гемолимфе, продуцируя гифальные тела или бластоспоры, которые приводят к микозу и гибели хозяина [6]. Ускорять гибель насекомого позволяет способность продуцировать вторичные метаболиты, включая токсины: боверицин, боверолиды, бассинолиды и другие [9, 10].

Представители энтомопатогенных грибов, в том числе *Beauveria bassiana*, обладают адаптивной способностью, которая обусловлена возможностью изменять в зависимости от условий среды качественный и количественный состав синтезируемого ими комплекса ферментов [11]. Специфика ферментных систем обеспечивает энтомопатогенным грибам не только паразитическую, но и сапротрофную жизнедеятельность [9, 11]. Для многих видов энтомопатогенных грибов средой обитания служат различные типы почв, а также характерно наличие комплекса лигно-целлюлолитических ферментов, обеспечивающих деградацию растительных субстратов, что свидетельствует о широкой распространенности и потенциале биохимической активности [11, 12, 13, 14].

Препараты на основе энтомопатогенных грибов предназначены для подавления численности вредоносных насекомых в зависимости от видов используемых микромицетов, целевых объектов и среды их обитания [4]. Но практическое использование энтомопатогенных грибов связано с проблемой их массового размножения. Поэтому необходимо изучение факторов, обеспечивающих продуктивность и биологическую активность культуры на этапах технологического цикла, а также в процессе хранения для последующего применения.

Для наработки грибов в различных препаративных формах применяют методы жидкофазной или твердофазной ферментации. Твердофазный способ пригоден для производ-

ства грибных препаратов, так как хорошее спороношение грибов можно получить за счет увеличения спороносящей поверхности на твердом субстрате, в качестве которого зачастую используется зерно. Так, из микоинсектицидных биопрепаратов известны Вертициллин зерновой и Боверин зерновой-БЛ. Однако недостатком твердофазного способа является длительность процесса ферментации и сушки (до 14 суток). Наиболее распространенным способом массовой наработки энтомопатогенных грибов является жидкофазная ферментация. Жидкофазным способом получают нативную форму биопрепарата, представляющую собой суспензию в жидкой или концентрированной форме (Вертициллин, К, Боверин-концентрат, Ж). Биопрепараты на основе энтомопатогенных грибов в виде суспензии споровомицелиальной массы в культуральной жидкости являются наиболее перспективными для их наработки и последующего применения вследствие того, что на поверхности тела насекомого адгезия капель суспензии с компонентами питательной среды более эффективна, чем адгезия сухих спор [15]. Этот фактор позволяет ускорить прорастание спор (конидий) и развитие патологического процесса.

Одним из условий пригодности технологии получения биопрепарата для масштабирования является наличие доступного сырья. Таким относительно дешевым и доступным источником биологически активных веществ, пригодных в качестве основы питательной среды для культивирования микроорганизмов, является молочная сыворотка – побочный продукт, образующийся при переработке молока [16]. Молочная сыворотка содержит до 7 % сухих веществ (углеводы, белки, жиры, микроэлементы), что является хорошей питательной средой для развития микроорганизмов. Несмотря на питательную ценность, проблема переработки молочной сыворотки в настоящее время не решена, и значительная часть этого отхода производства сливается в канализацию [17]. Другим доступным источником для использования в качестве компонента питательной среды является пивная барда [18]. Барда – это отход, вызывающий загрязнение окружающей среды, но благодаря содержанию клетчатки, белка и микроэлементов, может служить вторичным сырьевым ресурсом. Производственные отходы, сбрасываемые в канализацию, приводят к ухудшению работы сооружений биологической очистки, тем

самым осложняют экологическую обстановку [19]. Возможность использования различных промышленных отходов для наработки биомассы микробной культуры с высокой биологической активностью для последующего применения изучена недостаточно.

Инсектицидные биопрепараты потенциально предназначены для биоконтроля насекомых-вредителей, которые повреждают в основном надземную часть растений. Инсектицидная активность штаммов *Beaveria bassiana* хорошо известна, и их использование в составе биопрепаратов против различных насекомых является доказанной практикой [20, 21]. Однако проведенными ранее исследованиями была обнаружена и нематоцидная активность у некоторых представителей *B. bassiana* [22]. Это подтверждает потенциал штаммов *B. Bassiana* в качестве средств биоконтроля в отношении почвообитающих вредителей растений – фитопаразитических нематод. В дальнейшем представляется интересным оценить биологическую активность нативной-суспензированной формы биопрепарата на основе штамма *B. bassiana* после длительного хранения.

Цель работы – оценить влияние состава питательной среды на продуктивность, а также сохранность биологической активности в образцах суспензированной формы биопрепарата на основе штамма *B. bassiana*.

Новизна исследований – представлен один из возможных способов длительного сохранения вирулентности и биологической активности исследуемого штамма, а также совершенствования технологии выращивания производственно ценных микроорганизмов с использованием различных доступных и дешевых компонентов питательной среды для получения полифункционального биопестицида.

Материал и методы. Исследования проведены в 2019 году. Объект исследований – штамм *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Все-российская коллекция промышленных микроорганизмов (ВКПМ) F-145). Штамм на агаризованных средах Чапека и Сабуро образует выпуклые округлые колонии с хорошо развитым воздушным мицелием белого цвета.

Вид почвообитающих бактериотрофных нематод *Rhabditis sp.* семейства Rhabditidae использовали в качестве тест-организма, выбор которого для исследований обусловлен морфофизиологическими особенностями подвижной стадии развития нематод.

Для глубинного культивирования использовали побочные продукты и отходы пивного и молочного производства: молочную (творожную) сыворотку и пивную барду. Штамм выращивали на жидких питательных средах: среда Чапека, среда на основе молочной сыворотки, среда на основе пивной барды и среда на основе смеси сыворотки и барды (соотношение 1:1). Состав среды Чапека (г/л): NaNO_3 – 3; K_2HPO_4 – 1; MgSO_4 – 0,5; KCl – 0,5; FeSO_4 – 0,01; сахароза – 20. Состав пивной барды (мг/л): взвешенные вещества растительного происхождения (600), жиры (5), концентрация сахаров исходная (следы). Состав молочной сыворотки (ТУ 9229-110-04610209-2002 «Сыворотка молочная пастеризованная») (%): сухие вещества, в том числе остаточный молочный белок (7,2) и жиры (0,4). В составе среды, где в качестве основы была пивная барда, дополнительным компонентом служила сахароза (20 г/л в соответствии с составом среды Чапека). В состав питательных сред, содержащих пивную барду или молочную сыворотку, или их смесь, в качестве индукторов вносили дизельное топливо (ДТ) – 0,05 % или Твин-80 – 0,5 %, а также добавляли (г/л): K_2HPO_4 – 0,2; KNO_3 – 0,2; MgSO_4 – 0,05; CaCO_3 – 0,05; NaCl – 0,05. Исходное значение рН питательных сред – $6,3 \pm 0,2$.

Образцы суспензии штамма *B. bassiana* нарабатывали глубинным культивированием на питательных средах различного состава. Для приготовления посевной культуры штамм выращивали на агаризованной среде Чапека в чашках Петри в течение 8 суток при 24 ± 1 °С. Агаровыми блоками (диаметр 8 мм), вырезанными из зоны роста колонии, осуществляли засев стерильных жидких сред в конических колбах ($n = 3$ по вариантам) объемом 250 мл, объем среды – 100 мл. Культивирование проводили на шейкере (180 об./мин; 25 ± 2 °С) в течение 5 суток. Для определения продуктивности (наличие некоторых ферментов, титр и биомасса) и для исследований биологической активности культуры *B. bassiana* стерильно отбирались пробы.

В образцах суспензии штамма тестированием по реакции на перекись водорода (10 %) определена каталазная активность¹. Определение способности штамма к деградации

целлюлозы проводили путем выращивания на агаризованной минеральной среде с добавлением 0,1 % карбоксиметилцеллюлозы внесением 0,1 мл исследуемого образца суспензии. После инкубирования чашку заливали 0,1%-ным раствором Конго красного, после удаления красителя заливали 1М раствором NaCl . Чашки просматривали и отмечали наличие зон просветления, их диаметр, отношение диаметра зоны просветления к диаметру колонии².

Биологическую активность образцов суспензированной формы препарата оценивали по смертности тест-организма в соответствии с методикой Abbott³.

Нематоцидная активность определена по способности суспензии гриба *B. bassiana* ингибировать подвижность и умерщвлять нематод. Выращивали нематод на газоне бактерий *Escherichia coli* (ВКПМ В-8208). Бактерии предварительно культивировали на среде МПА. Для тестирования использовали нативную культуральную суспензию гриба. Образцы в равном объеме дозатором вносили в ячейки планшета, куда затем помещали определенное количество нематод (не менее 20 особей) в трехкратной повторности и выдерживали при 20 ± 2 °С без освещения. Наблюдения за ингибированием подвижности нематод проводили с помощью стереоскопического микроскопа Olympus SZ51 (увеличение 200x) в течение 2 суток после обработки (18 час, 42 час). В качестве контроля использовали стерильную дистиллированную воду. Для определения эффективности контактного воздействия метаболитов на тест-организм обездвиженных нематод из опытных сред планшета переносили в дистиллированную воду (1 раз в первые сутки). При незначительном токсическом воздействии среды возможно восстановление двигательной активности живых особей нематод. Аналогично проведено определение биологической активности с использованием образцов культуральной суспензии штамма после длительного хранения (67 суток при 2-4 °С).

Количество инфекционных единиц определяли методом Коха по количеству колониеобразующих единиц (КОЕ) посевом на агаризованную среду Чапека. Численность колоний (КОЕ/мл) выражали в десятичных логарифмах

¹Методы экспериментальной микологии. Под ред. В. И. Билай. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.

²Teather R. M., Wood P. J. Use of Congo red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. Appl. Environ. Microbiol. 1982;43 (4):777-780.

³Abbott W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 1925;18 (2):265-267.

для статистической обработки. Содержание биомассы определяли объемно-расчетным методом в пробах ($n = 3$) объемом 5 мл по абсолютно сухой массе (г/л)⁴.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали статистически с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel и CXSTAT, данные приведены в виде среднего арифметического с доверительным интервалом для $P = 0,95$, рассчитанным по результатам измерения соответствующего параметра в трёх повторах.

Результаты и их обсуждение. Состав питательной среды и условия культивирования влияют на продуктивность, спорообразование, выход биомассы, а также на биосинтез комплекса экзоферментов, включая и те ферменты, которые эволюционно способны синтезировать энтомопатогенные грибы, а также те ферменты, которые не отвечают за инфективность этих грибов. Поэтому было проведено исследование продуктивности штамма *Beauveria bassiana* при культивировании на различных питательных средах (табл. 1).

Таблица 1 – Глубинное культивирование штамма *B. bassiana* на различных средах / Table 1 – Submerged cultivation of the *B. bassiana* strain on different media

Состав среды при культивировании / Substrate content when cultivated	Активность / Activity		Продуктивность штамма / Strain productivity	
	целлюлозная / cellulolytic	каталазная / catalase	биомасса, г/л / biomass, g/l	титр, КОЕ/мл / titre, CFU/ml
Среда Чапека / Czapek's medium	+	+	8,7±0,4	(1,3±0,6) x 10 ⁷
Молочная сыворотка / Milk whey	-	+	10,1±0,5	(3,2±0,3) x 10 ⁸
Пивная барда + ДТ / Brewery spent grain liquor + DF	++	+++	11,3±0,6	(1,5±0,5) x 10 ⁸
Пивная барда + Твин-80 / Brewery spent grain liquor + Tween-80	++	++	12,9±0,6	(4,6±0,4) x 10 ⁸
Молочная сыворотка + пивная барда + Твин-80 / Milk whey + brewery spent grain liquor + Tween-80	+++	+++	14,5±0,7	(5,5±0,5) x 10 ⁹
Молочная сыворотка + пивная барда + ДТ / Milk whey + brewery spent grain liquor + DF	+	+++	18,2±0,5	(7,8±0,7) x 10 ¹⁰
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	1,54	1,18

Примечания: «+» – присутствие ферментативной активности; «-» – отсутствие ферментативной активности; «++» и «+++» – увеличение показателя ферментативной активности (увеличение зоны просветления или газообразных выделений в сравнении с теми же показателями на среде Чапека) /

Notes: "+" is for the presence of enzymatic activity; "-" – for the absence of enzymatic activity; "++" and "+++” – for an increase in the enzymatic activity index (an increase in the regions of enlightenment or gaseous secretions compared to the same indices on the Czapek medium).

Представленные результаты жидкофазного выращивания демонстрируют различную продуктивность штамма. Показано, что количество инфекционных единиц, выход биомассы и ферментативная активность были различными. Полученные суспензии содержали биомассу 8-18 г/л. В образцах суспензии с использованием сыворотки и барды титр был выше на 2-3 порядка, чем на среде Чапека. Каталазная активность штамма отмечена для всех питательных сред.

Однако в значительной степени каталазная и целлюлозолитическая активность проявилась в суспензии, полученной на питательной среде, содержащей смесь сыворотки и барды с добавлением индуктора Твин-80.

Состав сред, которые содержали компоненты молочной сыворотки (лактоза и белок) и компоненты растительного происхождения пивной барды, а также индукторы (Твин-80 или ДТ), способствовал накоплению биомассы и биосинтезу ферментов. Твин-80 и ДТ в составе среды с пивной бардой или среды, включающей

⁴Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.

смесь пивной барды и сыворотки, возможно выступали индукторами развития спорообразования, так как в данных средах при различном соотношении C:N и содержании питательных компонентов отмечено наибольшее количество инфекционных единиц – КОЕ/мл, которые отражают наличие проросших спор или фрагментов мицелия в образцах исследуемой суспензии. Продуктивность гриба при выращивании на среде Чапека отмечена наименьшими показателями. При глубинном способе культивирования штамма *B. bassiana* питательные среды сложного состава способствовали наиболее высокому выходу мицелиальной массы с содержанием 14-18 г/л и 10^9-10^{10} КОЕ/мл.

Для оценки биологической активности в отношении подвижных стадий нематод использовали образцы суспензии, полученные после глубинного культивирования штамма *B. bassiana* (5 суток), а также образцы суспензии после длительного хранения (67 суток).

Известно, что нематоцидная активность должна проявляться, прежде всего, ингибированием движения нематод вследствие действия токсинов, обеспечивая проникновение гифов с последующей деградацией (перевариванием) организма под действием ферментов [23]. Такая стратегия характерна для нематофаговых грибов, которые синтезируют комплекс соединений (аттрактанты, токсины, ферменты: протеазы, коллагеназы, липазы и хитиназы) против подвижных стадий нематод (личинки и половозрелые особи) [24]. Несмотря на то, что нематоды *Rhabditis sp.* не являются фитофагами, этот вид был использован для тестирования нематоцидной активности энтомопатогенного гриба. Обусловлен выбор тест-организма для исследований тем, что бактериотрофные нематоды семейства Rhabditidae морфологически отличаются только в той части, которая позволяет фитогельминтам паразитировать [25, 26]. Фитогельминты являются высокопатогенными организмами, многие виды которых принадлежат к классу Chromodea, отряду Rhabdihida [25]. В зависимости от систематического положения и образа жизни могут отличаться толщина и ультраструктура отдельных слоев кутикулы нематод. Однако у всех видов нематод строение стенки тела представляет кожно-мускульный мешок, где белки (кератин и коллаген) определяют эластичность и прочность покровов, липопр-

теины обеспечивают их проницаемость [26]. Следовательно, те вещества, которые при контакте с телом нематоды могут вызвать ингибирование подвижности и гибель, обладают токсическим воздействием. Степень такого воздействия характеризует нематоцидную активность и зависит от длительности контакта и концентрации токсичных веществ.

В результате наблюдений отмечена различная нематоцидная активность образцов 5-суточной суспензии штамма *Beauveria bassiana* по отношению к подвижным стадиям нематод (табл. 2). В контрольном варианте инкубация в водной среде привела к гибели особей нематод – потери по естественным причинам (2,5 %). Обнаружено, что наиболее высокой токсичностью к нематодам обладали образцы нативной формы биопрепарата в вариантах с обработкой суспензией, полученной на среде, включающей молочную сыворотку и пивную барду с добавлением индукторов (ДТ или Твин-80) – более 90 % гибель нематод. При обработке суспензией, полученной на среде с молочной сывороткой без индукторов и на среде Чапека, гибель нематод была на уровне 8 и 30 % соответственно. В вариантах с использованием образцов суспензии, полученных на средах с пивной бардой и индукторами (ДТ или Твин-80), нематоцидная активность отмечена на уровне 20 и 40 %. В исследуемых образцах суспензии концентрация биомассы была на уровне 10^7-10^{10} КОЕ/мл. Наличие мицелиальной массы, а также продуктов метаболизма в культуральной суспензии способствовало нематоцидной активности штамма. Можно сделать предположение, что вторичные метаболиты суспензии, прежде всего собственные токсины и ферменты штамма *B. bassiana*, обладают нематоцидной активностью в отношении подвижных стадий нематод, что подтверждено нематостатическим эффектом. Исследуемые образцы жидкой нативной формы препарата в виде суспензии мицелиальной массы гриба содержали остаточные компоненты питательной среды, что возможно также способствовало развитию патологического процесса и гибели тест-организма. Следовательно, различный состав питательных сред в различной степени способствовал синтезу продуктов метаболизма штамма *B. bassiana*, включая биомассу с концентрацией не менее 10^7 КОЕ/мл, которые обладают нематоцидной активностью (табл. 2).

Таблица 2 – Нематоцидная активность образцов суспензии на основе штамма *B. bassiana* / Table 2 – Nematicidal activity of suspension samples based on *B. bassiana* strain

Вариант обработки / Treatment variant	Гибель нематод за период инкубации, % / Nematodes' death during the incubation period, %	
	1-е сутки / 1 st day	2-е сутки / 2 nd day
Контроль (стерильная вода) / Control (sterile water)	2,5±1,5	2,5±1,5
Среда Чапека / Czapek medium-based suspension	2,5±1,5	29,5±2,5
Молочная сыворотка / Milk whey	2,5±1,5	8,5±2,5
Пивная барда + ДТ / Brewery spent grain liquor + DF	2,5±1,5	23,0±12,5
Пивная барда + Твин-80 / Brewery spent grain liquor + Tween-80	37,0±12,5	43,0±12,5
Молочная сыворотка + барда + Твин-80 / Milk whey + brewery spent grain liquor + Tween-80	90,0±5	97,0±2,5
Молочная сыворотка + барда + ДТ / Milk whey + brewery spent grain liquor + DF	80,0±12,5	97,0±2,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	11,5	13,9

Одним из условий стабильности действия при использовании инсектицидного биопрепарата на основе энтомопатогенного гриба является преобладание спор в культуральной жидкости с содержанием биомассы, так как прорастание спор обеспечивает большую скорость патологического процесса, чем разрастание мицелия [15, 27, 28]. Напротив, на развитие патологического процесса при использовании нематоцидного биопрепарата на основе культуры гриба концентрация спор в суспензии значительного влияния не имеет [23, 24]. Нематоцидная активность биопрепарата на основе энтомопатогенного гриба зависит, прежде всего, от концентрации в суспензии мицелиальной массы и продуктов метаболизма, обеспечивающих ингибирование подвижности и последующую гибель нематод. Однако длительное хранение суспензированной формы биопрепарата может вызвать лизис мицелиальной массы, а также денатурацию вторичных метаболитов

(экзоферментов и токсинов). Поддержание стабильности по основным целевым признакам для перспективных штаммов-продуцентов является важным фактором для биопрепаратов в качестве средств защиты растений.

Анализ нематоцидной активности после длительного хранения глубинной культуры *B. bassiana* был проведен в двух вариантах жидкой суспензии штамма, которые были выделены на предыдущих этапах исследований по показателям продуктивности и токсигенности в отношении тест-организма (табл. 3). Исследование образцов суспензии без разведения показало, что нематоцидная активность была на уровне 60-80 %, в разведенной суспензии она отсутствовала. Образцы суспензии, полученные на питательных средах, в состав которых входили сыворотка и пивная барда с добавлением индукторов (Твин-80 или ДТ) имели титр жизнеспособных инфекционных единиц штамма на уровне 10⁶-10⁷ КОЕ/мл.

Таблица 3 – Нематоцидная активность образцов суспензии на основе штамма *B. bassiana* после длительного хранения (67 суток) / Table 3 – Nematicidal activity of suspension samples based on *B. bassiana* strain when stored for a long time (67 days)

Вариант обработки / Treatment variant	Гибель нематод за период инкубации, % / Nematodes' death during the incubation period, %		Tump, КОЕ/мл / Titre, CFU/ml
	1-е сутки / 1 st day	2-е сутки / 2 nd day	
Контроль (стерильная вода) / Control (sterile water)	3,0-5,0	3,0-5,0	-
Смесь сыворотки и пивной барды + Твин-80 (без разведения) / Milk whey-spent liquor mixture-based suspension + Tween-80 (undiluted)	40,0±12,5	67,0±5,0	(5,3±0,3) x10 ⁷
Смесь сыворотки и пивной барды + ДТ (без разведения) / Milk whey-spent liquor mixture-based suspension + DF (undiluted)	50,0±5,0	80,0±5,0	(8,5±0,6)x10 ⁶
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	14,6	9,1	1,4

Из данных таблиц 1-3 следует, что при глубинном культивировании для наработки нативной формы биопрепарата на основе штамма энтомопатогенного гриба наиболее оптимальными являются питательные среды, в состав которых входили молочная сыворотка и пивная барда, так как на данных средах отмечена наибольшая продуктивность с высоким выходом мицелиальной массы в суспензии. Сложный состав питательной среды, содержащей отходы и индукторы, способствовал нематоцидной активности штамма, которая при длительном хранении изменилась незначительно.

Заключение. В результате проведенных исследований показана перспективность использования штамма энтомопатогенного гриба *B. bassiana* (ВКПМ F-145) для разработки на его основе биопестицидного препарата,

обладающего нематоцидной активностью. Показана перспективность использования отходов пивного и молочного производства для получения нативной формы биопрепарата глубинным культивированием. Предложены условия и состав питательной среды на основе смеси молочной сыворотки и пивной барды с добавлением индукторов Твин-80 или дизельного топлива, которые способствуют высокой продуктивности и биологической активности штамма. Установлено, что мицелиальная масса и метаболиты энтомопатогенного гриба, полученные на данных средах, сохраняют токсигенную активность в отношении подвижных стадий нематод семейства Rhabditidae. Нематоцидная активность штамма *B. bassiana* сохраняется на уровне 67-80 % после длительного хранения жидкой культуры (67 суток).

Список литературы

1. Maxmen A. Crop pests: under attack. Nature. 2013;501:15-17. URL: <https://www.nature.com/articles/501S15a>
2. Eilenberg J., Hajek A., Lomer C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl. 2001;46 (4):387-400. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
3. Bhattacharjee R., Dey U. An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases. Afr. J. Microbiol. Res. 2014;8 (17):1749-1762. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6356>
4. Lomer C. J., Bateman R. P., Johnson D. L., Lagewald J., Thomas M. Biological control of locusts and grasshoppers. Annual Review of Entomology. 2001;46:667-702. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.667>
5. Wang C., Leger R. J. S. Genomics of Entomopathogenic Fungi. The Ecological Genomics of Fungi. India, 2013. Part. 4. pp. 243-260. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118735893.ch11>
6. Леднев Г. Р., Борисов Б. А., Митина Г. В. Возбудители микозов насекомых. С-Пб, 2003. 71 с.
7. Butt T. M., Hadj N. B. E., Skrobek A., Ravensberg W. J., Wang Ch., Lange C. M., Vey A., Shah U-K., Dudley E. Mass spectrometry as a tool for the selective profiling of des-truxins; their first identification in *Lecanicillium longisporum*. Rapid Communications in Mass Spectrometry. 2009;23 (10):1426-1434. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.4018>
8. Cox G. M., McDade H. C., Chen S. C. A., Tucker S. C., Gottfredsson M., Wright L. C., Sorrell T. C., Leidich S. D., Casadevall A., Ghannoum M. A., Perfect J. R. Extracellular phospholipase activity is a virulence factor for *Cryptococcus neoformans*. Mol. Microbiol. 2001;39(1):166-175. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2001.02236.x>
9. Xiao G., Ying S-H., Zheng P., Wang Z.-L., Zhang S., Xie X-Q., Shang Ya., Leger R. J. S., Zhao G.-P., Wang Ch., Feng M.-G. Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*. Sci. Rep. 2012;(2):483. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep00483>
10. Тутельян В. А., Кравченко Л. В. Микотоксины. М.: Медицина, 1985. 320 с.
11. Беккер З. Э. Физиология и биохимия грибов. М.: МГУ, 1988. 227 с.
12. Hu G., Leger R. J. S. Field studies using a recombinant mycoinsecticide (*Metarhizium anisopliae*) reveal that it is rhizosphere competent. Appl. Environ. Microbiol. 2002;68 (12):6383-6387. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.68.12.6383-6387.2002>
13. Gao Q., Jin K., Ying S. H., Zhang Y., Xiao G., Shang Ya., et al. Genome sequencing and comparative transcriptomics of the model entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *M. acridum*. PLoS Genet. 2011;7(1):e1001264. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001264>
14. Шарапова И. Э. Применение биоопалпинга для предварительной обработки древесного сырья в процессе производства биоэтанола. Часть 1. Отбор штаммов базидиальных и микромицелиальных грибов для биоопалпинга древесных субстратов. Бутлеровские сообщения. 2018;56(11):140-145. Режим доступа: <https://butlerov.com/stat/reports/details.asp?lang=ru&id=31054>
15. Секова В. Ю., Корнилова Н. А., Васильева А. В. Глубинное культивирование энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana*. Успехи в химии и химической технологии. 2010;24 (11):42-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20293253>
16. Зипаев Д. В., Зимичев А. В. Молочная сыворотка – ценное сырье для вторичной переработки. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007;(2):14-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12838876>
17. Макарова Н. В., Зимичев А. В., Зипаев Д. В., Лугова Т. В. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2008;(4):5-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11622868>
18. Колпакчи А. П., Голикова Н. В., Андреева О. П. Вторичные материальные ресурсы пивоварения. М.: Агропромиздат, 1986. 160 с.

19. Эпоян С., Фомин С., Фомина И. Интенсификация сооружений биологической очистки сточных вод молокозаводов. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2013;15(6):133-140. Режим доступа: <https://journals.pan.pl/Content/91308/mainfile.pdf>
20. Stimac J. L. Biological control of imported fire ants with a fungal pathogen: Пат. № 4925663 (United States). № 140018: заявл. 31.12.1987; опубл. 15.05.1990. 4 с. Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cf/ba/d5/2a9e22f50a0687/US4925663.pdf>
21. Райт Д. Е. [US], Чандлер Л. Д. [US], Науф Т. А. [US] Штамм гриба *Beauveria bassiana*, предназначенный для получения энтомопатогенного препарата против хлопкового долгоносика, белянки сладкого картофеля и хлопкового слепняка, композиция для борьбы с насекомыми-вредителями, способ борьбы с насекомыми-вредителями: патент №2103873 (Российская Федерация). №: 93051784/13; заявл. 09.01.1992; опубл. 10.02.1998. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rm=8680&DocNumber=2103873&TypeFile=pdf
22. Sharapova I. E. Prospects of using entomopathogenic fungus in development of a biopesticide product with nematocidal activity. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019;19:1878-8181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101098>
23. Comans-Pérez R., Aguilar-Marcelino L., Mendoza De Gives P., Sánchez Je., López-Arellano Me. In vitro lethal capability of ten strains of edible mushroom-rooms against *Haemonchus contortus* (Nematoda) infective larvae [conference poster]. In: Proceedings of 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8), New Delhi, India, 19-22 November 2014. ICAR-Directorate of Mushroom Research, 2014. Vol. I & II. pp. 557-562. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153365541>
24. Liu X., Xiang M., Che Y. The living strategy of nematophagous fungi. Mycoscience. 2009;50(1):20-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10267-008-0451-3>
25. Chitwood D. J. Biochemistry and function of nematode steroids. Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 1999;34(4):273-284. DOI: <https://doi.org/10.1080/10409239991209309>
26. Зиновьева С. В., Чижов В. Н., Придаников М. В., Субботин С. А., Рысс А. Ю., Хусаинов Р. В. Фитопаразитические нематоды России: монография. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. 385 с.
27. Wraight S. P., Inglis G. D., Goettel M. S. Fungi. In: Lacey L. A., Kaya H. K. (eds). Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology. Springer, Dordrecht, 2017. pp. 223-248. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5933-9_10
28. Севницкая Н. Л. Продуктивность и вирулентность энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. при культивировании на разных питательных средах. Труды БГТУ. 2016;(1):177-181. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26465032>

References

1. Maxmen A. Crop pests: under attack. Nature. 2013;501:15-17. URL: <https://www.nature.com/articles/501S15a>
2. Eilenberg J., Hajek A., Lomer C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl. 2001;46(4):387-400. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
3. Bhattacharjee R., Dey U. An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases. Afr. J. Microbiol. Res. 2014;8(17):1749-1762. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6356>
4. Lomer C. J., Bateman R. P., Johnson D. L., Lagewald J., Thomas M. Biological control of locusts and grasshoppers. Annual Review of Entomology. 2001;46:667-702. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.667>
5. Wang C., Leger R. J. S. Genomics of Entomopathogenic Fungi. The Ecological Genomics of Fungi. India, 2013. Part 4. pp. 243-260. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118735893.ch11>
6. Lednev G. R., Borisov B. A., Mitina G. V. *Vozbuditeli mikozyov nasekomykh*. [Pathogens of insect mycoses: a diagnostic manual]. Saint-Petersburg, 2003. 71 p.
7. Butt T. M., Hadj N. B. E., Skropek A., Ravensberg W. J., Wang Ch., Lange C. M., Vey A., Shah U.-K., Dudley E. Mass spectrometry as a tool for the selective profiling of des-truxins; their first identification in *Lecanicillium longisporum*. Rapid Communications in Mass Spectrometry. 2009;23(10):1426-1434. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.4018>
8. Cox G. M., McDade H. C., Chen S. C. A., Tucker S. C., Gottfredsson M., Wright L. C., Sorrell T. C., Leidich S. D., Casadevall A., Ghannoum M. A., Perfect J. R. Extracellular phospholipase activity is a virulence factor for *Cryptococcus neoformans*. Mol. Microbiol. 2001;39(1):166-175. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2001.02236.x>
9. Xiao G., Ying S.-H., Zheng P., Wang Z.-L., Zhang S., Xie X.-Q., Shang Ya., Leger R. J. St., Zhao G.-P., Wang Ch., Feng M.-G. Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*. Sci. Rep. 2012;(2):483. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep00483>
10. Tutelyan V. A., Kravchenko L. V. *Mikotoksiny*. [Mycotoxins]. Moscow: Meditsina, 1985. 320 p.
11. Bekker Z. E. *Fiziologiya i biokhimiya gribov*. [Physiology and biochemistry of fungi]. Moscow: MGU, 1988. 227 p.
12. Hu G., Leger R. J. S. Field studies using a recombinant mycoinsecticide (*Metarhizium anisopliae*) reveal that it is rhizosphere competent. Appl. Environ. Microbiol. 2002;68(12):6383-6387. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.68.12.6383-6387.2002>
13. Gao Q., Jin K., Ying S. H., Zhang Y., Xiao G., Shang Ya., et al. Genome sequencing and comparative transcriptomics of the model entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *M. acridum*. PLoS Genet. 2011;7(1):e1001264. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001264>
14. Sharapova I. E. *Primenenie biopalpinga dlya predvaritel'noy obrabotki drevesnogo syr'ya v protsesse proizvodstva bioetanol. Chast' 1. Otbor shtammov bazidial'nykh i mikromitselial'nykh gribov dlya biopalpinga drevesnykh substratov*. [Use of biopulping for pretreatment of wood in bioethanol production. Part 1. Sampling of strains of basidiomycetes and micromycetes for biopulping of wood substrates]. *Butlerovskie soobshcheniya* = Butlerov Communications. 2018;56(11):140-145. (In Russ.). URL: <https://butlerov.com/stat/reports/details.asp?lang=ru&id=31054>

15. Sekova V. Yu., Kornilova N. A., Vasil'eva A. V. *Glubinnoe kul'tivirovanie entomopatogenogo griba Beauveria bassiana*. [Deep cultivation of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2010;24 (11):42-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20293253>
16. Zipaev D. V., Zimichev A. V. *Molochnaya syvotka – tsennoe syr'e dlya vtorichnoy pererabotki*. [Whey – a valuable raw material for recycling]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya = Food Technology*. 2007;(2):14-16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12838876>
17. Makarova N. V., Zimichev A. V., Zipaev D. V., Lugova T. V. *Sovremennye tendentsii v pererabotke molochnoy syvotki*. [Modern trends in the milk whey processing]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya = Food Technology*. 2008;(4):5-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11622868>
18. Kolpakchi A. P., Golikova N. V., Andreeva O. P. *Vtorichnye material'nye resursy pivovareniya*. [Secondary material resources of brewing]. Moscow: *Agropromizdat*, 1986. 160 p.
19. Epoyan S., Fomin S., Fomina I. *Intensifikatsiya sooruzheniy biologicheskoy ochistki stochnykh vod molokozavodov*. [Intensification of biological treatment sewage dairies]. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2013;15(6):133-140. (In Poland). URL: <https://journals.pan.pl/Content/91308/mainfile.pdf>
20. Stimac J. L. Biological control of imported fire ants with a fungal pathogen: pat. US № 4925663. 1990. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cf/ba/d5/2a9e22f50a0687/US4925663.pdf>
21. Rayt D. E. [US], Chandler L. D. [US], Nauf T. A. [US] Strain of the fungus *Beauveria bassiana*, used to produce an entomopathogenic drug against cotton weevil, sweet potato whitefish and cotton horsefly, a composition for pest control, a method of pest control: pat. No. 2103873 (RF). URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&m=8680&DocNumber=2103873&TypeFile=pdf
22. Sharapova I. E. Prospects of using entomopathogenic fungus in development of a biopesticide product with nematocidal activity. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019;19:1878-8181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101098>
23. Comans-Pérez R., Aguilar-Marcelino L., Mendoza De Gives P., Sánchez Je., López-Arellano Me. In vitro lethal capability of ten strains of edible mushrooms against *Haemonchus contortus* (Nematoda) infective larvae [conference poster]. In: *Proceedings of 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8)*, New Delhi, India, 19-22 November 2014. ICAR-Directorate of Mushroom Research, 2014. Vol. I & II. pp. 557-562. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153365541>
24. Liu X., Xiang M., Che Y. The living strategy of nematophagous fungi. *Mycoscience*. 2009;50(1):20-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10267-008-0451-3>
25. Chitwood D. J. Biochemistry and function of nematode steroids. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 1999;34 (4):273-284. DOI: <https://doi.org/10.1080/10409239991209309>
26. Zinovyeva S. V., Chizhov V. N., Pridannikov M. V., Subbotin S. A., Ryss A. Yu., Khusainov R. V. *Fitoparaziticheskie nematody Rossii: monografiya*. [Plant parasitic nematodes of Russia]. Moscow: *T-vo nauch. izd. KMK*, 2012. 385 p.
27. Wright S. P., Inglis G. D., Goettel M. S. Fungi. In: Lacey L. A., Kaya H. K. (eds). *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Springer, Dordrecht, 2017. pp. 223-248. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5933-9_10
28. Sevnitskaya N. L. *Produktivnost' i virulentnost' entomopatogenogo griba Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. pri kul'tivirovanii na raznykh pitatel'nykh sredakh*. [Productivity and virulence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. at cultivation on different nutrient mediums]. *Trudy BGTU. = Proceedings of BSTU*. 2016;(1):177-181. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26465032>

Сведения об авторе

✉ Шарapова Ирина Эдмундовна, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела сельскохозяйственной геномики, Институт агробιοтехнологий им. А. В. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: nipti@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-0884>, e-mail: i_scharapova@mail.ru

Information about the author

✉ Irina E. Sharapova, PhD in Engineering, researcher, the Department of Agricultural Genomics, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Rucheynaya, 27, Syktyvkar, 167023, Komi Republic, Russian Federation, e-mail: nipti@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-0884>, e-mail: i_scharapova@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.928-934>
УДК 636.92



Влияние пребиотика с бифидогенными свойствами на морфометрические показатели кроликов

© 2021. Е. В. Виноградова¹, М. К. Чугреев², Н. И. Кульмакова²✉

¹ГБУВ МО «Территориальное ветеринарное управление №4», г. Видное, Московская обл., Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Исследования направлены на изучение возможности и эффективности использования лактулозы в кролиководстве. Лактулоза является изомером молочного сахара (дисахарид) и служит питательным субстратом для сахаролитических бактерий. Последние разлагают ее на короткоцепочечные жирные кислоты – молочную, уксусную, пропионовую, масляную. При этом снижается рН содержимого толстой кишки. Микробиоценоз использует лактулозу как источник углеводов и энергии. В данной работе рассчитана и определена опытным путем оптимальная дозировка и способ введения лактулозы в рацион молодняка кроликов калифорнийской породы. В эксперименте (2013-2016 гг.) участвовали самцы кроликов в возрасте 45 суток. Продолжительность эксперимента составила 60 суток. Контрольную и две опытные группы по 20 голов в каждой формировали методом пар-аналогов. Применяли сухой тип кормления с использованием полнорационного гранулированного комбикорма КК-92. Использовали концентрат лактулозы «Лактусан», добавляя его в питьевую воду. За базовое значение нормы введения лактулозы в рацион кроликов для запланированных дальнейших экспериментов приняли 0,06 г/кг живой массы в сутки. В результате проведенных исследований выявлены некоторые ответные реакции организма кроликов при их выращивании с использованием пребиотика лактулозы, обладающего бифидогенными свойствами. Установлено влияние разных дозировок лактулозы на морфологические показатели и мясную продуктивность кроликов. Масса исследованных внутренних органов не претерпела критических изменений. Введение лактулозы в рацион кроликов калифорнийской породы в течение 60 суток в дозировке 0,06 г/кг живой массы в сутки способствовало повышению убойного выхода на 3,1 %, в дозировке 0,12 г/кг – на 0,5 %.

Ключевые слова: рацион кормления кроликов, лактулоза, доза пребиотика, абсолютный прирост, среднесуточный прирост, масса

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Виноградова Е. В., Чугреев М. К., Кульмакова Н. И. Влияние пребиотика с бифидогенными свойствами на морфометрические показатели кроликов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):928-934.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.928-934>

Поступила: 23.07.2021

Принята к публикации: 19.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

The effect of prebiotic with bifidogenic properties on morphometric parameters of rabbits

© 2021. Evgeniya V. Vinogradova¹, Mihail K. Chugreev², Nataliya I. Kulmakova² ✉

¹Territorial Veterinary Department No. 4, Vidnoye, Moscow region, Russian Federation

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

The research was aimed at study of the potential and effectiveness of lactulose use in rabbit breeding. Lactulose is an isomer of milk sugar (disaccharide), it serves as a nutrient substrate for saccharolytic bacteria. The latter decompose it into short-chain fatty acids - lactic, acetic, propionic, butyric. At that time, the pH of the contents of the colon decreases. The microbiocenosis uses lactulose as a source of carbohydrates and energy. In this work, the optimal dosage and method of introducing lactulose into the diet of young rabbits of the California breed are calculated and determined experimentally. The experiment (2013-2016) involved male rabbits at the age of 45 days. The duration of the experiment was 60 days. The control group and two experimental groups of 20 heads each were formed by the method of analog pairs. The dry type of feeding was used using full-grain granular compound feed КК-92. Lactulose concentrate "Lactusan" was used, being added to drinking water. As the basic value of the norm for the introduction of lactulose into the diet of rabbits for further planned experiments, 0.06 g/kg of live weight per day was taken. As a result of the conducted studies, some responses of the rabbit body were revealed when they were raised using the lactulose prebiotic, which has bifidogenic properties. The influence of different dosages of lactu-

lose on some morphological parameters and meat productivity of rabbits was established. The mass of the examined internal organs did not undergo critical changes. The introduction of lactulose into the diet of California rabbits for 60 days at a dosage of 0.06 g/kg of live weight per day increased the slaughter yield by 3.1 %, and at a dosage of 0.12 g/kg – by 0.5 %.

Keywords: rabbit feeding diet, lactulose, prebiotic dose, absolute gain, average daily gain, weight

Acknowledgement: the research was carried out without financial support within the framework of the initiative theme. 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 citation: Vinogradova E. V., Chugreev M. K., Kul'makova N. I. The effect of prebiotic with bifidogenic properties on morphometric parameters of rabbits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):928-934. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.928-934>

Received: 23.07.2021

Accepted for publication: 19.11.2021

Published online: 15.12.2021

Для обеспечения стабильного здорового состояния и высокой продуктивности животных, в том числе кроликов, в их организме должна постоянно присутствовать нормальная микрофлора. Ее видовой и количественный состав в разных отделах организма не одинаков. Кишечный микробиоценоз самый многочисленный и разнообразный, но он же и весьма чувствительный к воздействию неблагоприятных факторов [1]. При нарушении качественного состава микробиоценоза или количественного соотношения микроорганизмов в нем развиваются дисбактериозы, которые приводят к иммунодефицитным состояниям, росту заболеваемости, снижению продуктивности и повышению падежа [2, 3, 4].

Снижение количества нормальной микрофлоры в толстой кишке влечет за собой стремительное уменьшение численности клеток, которые активно участвуют в местном иммунитете [5].

Для восстановления и поддержания кишечной микрофлоры в норме используют пребиотики с бифидогенными свойствами. Настоящие исследования направлены на изучение возможности и эффективности использования изомера молочного сахара – олигосахарида лактулозы в кролиководстве.

Олигосахариды, включая N-ацетилглюкозамин, глюкозу, галактозу, олигомеры фукозы или другие гликопротеины, которые в значительной пропорции составляют грудное молоко, являются специфичными факторами для роста бифидобактерий [6].

Лактулоза служит источником питания для кишечной микрофлоры, главным образом молочнокислой, тем самым способствует нормализации микробиоценоза кишечника, который, в свою очередь, обуславливает общий иммунитет организма, нормализацию физиологического состояния животных и повышение их продуктивности [7, 8]. Суть физиоло-

гического действия лактулозы заключается в том, что молекулы ее не расщепляются ферментами верхних отделов желудочно-кишечного тракта и в неизменном виде она доходит до толстого кишечника, где утилизируется бифидобактериями, являясь для них фактором роста [9]. Лактулоза не гидролизуется пищеварительными ферментами и не абсорбируется в верхних отделах пищеварительного тракта, но является селективным субстратом для роста и активации бифидо- и лактобактерий [10]. В тонкой кишке всасывается не более 2,0 % лактулозы, а основная ее часть попадает в толстый кишечник, где служит питательным субстратом для сахаролитических бактерий¹.

В процессе бактериального разложения лактулозы на короткоцепочечные жирные кислоты (молочная, уксусная, пропионовая, масляная) снижается рН содержимого толстой кишки. За счет этого же повышается осмотическое давление, ведущее к задержке жидкости в просвете кишки и усилению ее перистальтики. Использование лактулозы, как источника углеводов и энергии, приводит к увеличению бактериальной массы и сопровождается активной утилизацией аммиака и азота аминокислот [11].

Лактулозосодержащие биологически активные добавки оказали положительное влияние на мясную продуктивность и качественный состав мяса цыплят-бройлеров. Выход потрошеной тушки увеличился на 4,1 %. При этом затраты корма снизились на 3,2 %. Возросла сохранность молодняка при введении лактулозы в дозировке 0,1 мл/кг живой массы [12].

Цель исследований – рассчитать теоретически и установить опытным путем дозировку и способ введения пребиотика лактулозы в рацион молодняка кроликов калифорнийской породы и установить его влияние на некоторые морфометрические показатели и параметры их внутренних органов.

¹Рябцева С. А. Технология лактулозы: учебное пособие. М.: ДеЛи принт, 2003. 232 с.

Новизна исследований. Впервые проведены исследования по изучению ответных реакций организма кроликов на действие пребиотика лактулозы; установлена оптимальная дозировка введения лактулозы в рацион кроликов калифорнийской породы; выявлено влияние лактулозы на размеры внутренних органов кроликов.

Материал и методы. В эксперименте (2013-2016 гг.) участвовали самцы кроликов калифорнийской породы в возрасте 45 суток. Контрольную и две опытные группы по 20 голов в каждой формировали методом пар-аналогов. Применялся сухой тип кормления с использованием полнорационного гранулированного комбикорма КК-92. Использовали концентрат лактулозы «Лактусан»², который добавляли в питьевую воду животным опытной группы №1 – из расчёта 0,06 г/кг живой массы в сутки, опытной группы №2 – из расчёта 0,12 г/кг живой массы в сутки. Животным контрольной группы в аналогичном режиме давали водопроводную воду³ в nipple-поилках НП4 вволю. Продолжительность эксперимента 60 суток. Изучаемые показатели: живая масса, масса туши, убойный выход, масса внутренних органов: сердца, печени, селезенки, почек, кишечника. Морфологическую оценку тушек кроликов проводили во время контрольного убоя путем взвешивания отдельных органов и расчета их индексов (масса внутренних органов по отношению к предубойной массе в процентах). Полученные результаты обработаны статистически с использованием программы MS Excel⁴.

Настоящий пилотный эксперимент был проведен, в первую очередь, для того чтобы установить опытным путем норму введения лактулозы в рацион кроликов, то есть определить некое базовое ее значение, от которого можно будет отталкиваться в дальнейшей работе. В отношении кроликов подобные исследования не проводились и литературные данные, касающиеся использования

лактулозы в кролиководстве, отсутствуют. Поэтому при расчетах были использованы методические рекомендации, разработанные для человека.

В методических рекомендациях Федерального центра Госсанэпиднадзора Минздрава России⁵ указаны рекомендуемые величины суточного потребления пищевых и биологически активных веществ для взрослых людей. Для лактулозы адекватный уровень потребления составляет 2,0 г/сутки, верхний допустимый уровень потребления составляет 10,0 г/сутки. Значения этих уровней были пересчитаны на 1 кг средней массы тела человека.

По данным источника⁶, значения среднего веса взрослого человека в разных регионах и странах следующие: Европа – 70,8 кг; Северная Америка – 80,7 кг; Германия: мужчины – 82,4 кг, женщины – 67,5 кг (на 2007 г.); Соединенное Королевство – Уэльс: мужчины – 84,0 кг, женщины – 69,0 кг (на 2009 г.); США: мужчины – 88,3 кг; женщины – 74,7 кг (на 2003-2006 г.).

Используя эти данные, рассчитали среднее значение массы тела человека для разных регионов мира, которое составило от 75,8 до 81,5 кг. Зная этот показатель, определили среднее значение верхнего допустимого уровня потребления лактулозы из расчета на 1 кг массы тела человека (0,12-0,13 г/кг в сутки) и среднее значение адекватного уровня потребления (0,024-0,026 г/кг в сутки). За базовое значение нормы введения лактулозы в рацион кроликов для запланированных дальнейших экспериментов приняли 0,06 г/кг живой массы в сутки, т. е. вдвое меньше верхнего допустимого уровня, рекомендуемого для человека. Было принято решение норму введения лактулозы не брать ниже 0,06 г/кг живой массы кролика в сутки из опасений, что может не проявиться сколько-нибудь видимый эффект от действия этого пребиотика, а результат крайне важно было увидеть именно на начальных этапах исследований.

²ТУ 9229-004-53757476-09. Концентрат лактулозы «Лактусан». Декларация о соответствии ТС № RU Д-РУ.АВ45. В.14453, пр-во ООО «Фелицата Холдинг». URL: <https://felizata.ru/additive/concentrate.php>

³ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. М.: Стандартинформ, 2008. 21 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/89/8951.pdf>

⁴Ивантер Э. В., Коросов А. В. Основы биометрии: Введение в статистический анализ биологических явлений и процессов: учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского ГУ, 1992. 164 с.

⁵Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: методические рекомендации. Кол-в авторов. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 46 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5e9/4293846547.pdf>

⁶Вес тела человека. Info-Farm.ru. [Электронный ресурс]. URL: https://info-farm.ru/alphabet_index/v/ves-tela-cheloveka.html (дата обращения: 06.10.2021).

Вводили лактулозу в рацион кроликов, добавляя ее в питьевую воду в количестве, установленном следующими расчетами. В разных источниках говорится, что в среднем один кролик потребляет в сутки примерно 250-300 мл воды⁷; при кормлении кроликов гранулированными кормами им требуется 100 мл воды на 1 кг живой массы, или 200 мл на 100 г корма. Для молодняка требуется 300 мл воды в сутки; на 100 г сухого вещества корма кролики потребляют в среднем 216 мл (от 170 до 257 мл) воды, молодняк и сукрольные самки с 90-го по 180-й день жизни потребляют в сутки 300-350 мл воды⁸.

Таким образом, исходя из анализа данных литературных источников, опираясь на собственный опыт и условия эксперимента (возраст кроликов 45 суток, продолжительность эксперимента 60 суток), было принято условие, что кролики в среднем выпивают 250 мл воды в сутки.

Концентрат лактулозы «Лактусан» содержит: массовая доля сухих веществ 60,5 %, в т.ч. массовая доля лактулозы 50,2 %; массовая доля остальных углеводов 10,3 %. Далее определили количество концентрата лактулозы, которое нужно дать каждому кролику, чтобы выдержать принятый норматив

по лактулозе 0,06 г/кг живой массы в сутки. Для этого вычисляли среднее значение живой массы кроликов в период проведения опыта, которое, начиная с 45-суточного и до 105-суточного возраста, составило 2150 г. По расчетам на каждого кролика опытной группы №1 требуется по 0,13 г лактулозы в сутки, группы №2 – по 0,26 г. Массовая доля лактулозы в концентрате составляет 50,2%, следовательно, концентрата лактулозы на одного кролика опытной группы №1 потребуется по 0,26 г в сутки, опытной группы №2 – по 0,52 г в сутки. Это означает, что в 250 г питьевой воды, предназначенной на одного кролика опытной группы №1, следует добавить по 0,26 г концентрата лактулозы, опытной группы №2 – по 0,52 г. На опытную группу №1 (20 голов) в сутки потребуется 0,26 x 20,0 = 5,2 г концентрата лактулозы, а на все время проведения опыта (60 суток) – 5,2 x 60 = 312,0 г, на опытную группу №2 (20 голов) в сутки потребуется соответственно 0,52 x 20,0 = 10,4 г концентрата лактулозы, на 60 суток – 10,4 x 60 = 624,0 г.

Результаты и их обсуждение. На начало эксперимента живая масса кроликов опытной группы №1 составляла в среднем 1291,6 г, опытной группы №2 – 1315,4 г, контрольной – 1303,8 г (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние лактулозы на некоторые морфометрические показатели кроликов (n = 20) / Table 1 – The effect of lactulose on some morphometric parameters of rabbits (n = 20)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	опытная №1 / experimental no. 1	опытная №2 / experimental no. 2
Живая масса, г / Live weight, g			
- в начале опыта / at the beginning of the experience	1303,8±45,04	1291,6±34,90	1315,4±46,26
- в конце опыта / at the end of the experiment	2791,0±79,93	2934,6±91,05	2889,5±84,68
Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	1487,2±41,75	1643,0±63,08*	1574,1±52,11
Среднесуточный прирост, г / Average daily increase, g	24,8±0,25	27,4±1,06*	26,2±0,84
Масса туши, г / Carcass weight, g	1557,4±57,46	1727,6±62,13	1627,4±60,87
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	55,8	58,9	56,3

Примечание: Различия достоверны по отношению к контрольной группе при *p<0,05 / Note: differences are significant with respect to the control group at *p<0.05

Из данных таблицы 1 видно, что живая масса кроликов контрольной группы в конце опыта при убое составила 2791,0 г, кроликов опытной группы №1 составила 2934,6 г, что больше, чем в контроле на 143,6 г, опытной группы №2 составила 2889,5 г, что больше, чем в контроле на 98,5 г.

Достоверные различия между группами имеются в показателях абсолютного и среднесуточного приростов. Абсолютный прирост живой массы в опытной группе №1 на 155,8 г больше, чем в контроле, в опытной группе №2 увеличение составило 86,9 г. Среднесуточный прирост в группе №1 увеличился в среднем

⁷Терентьев П. В., Дубинин В. Б., Новиков Г. А. Кролик: пособие для гос. ун-тов. М.: Сов. наука, 1952. 364 с.
⁸Калугин Ю. А. Кормление кроликов. М.: Агропромиздат, 1985. 112 с.

на 2,6 г ($p < 0,05$) по отношению к контрольной, в опытной группе №2 – только на 1,4 г.

Масса туши кроликов контрольной группы составила 1557,4 г, убойный выход мяса – 55,8 %, опытной группы №1 – 1727,6 г, что на 170,2 г больше, чем в контроле, убой-

ный выход – 58,9 %, опытной группы №2 – 1627,4 г, что на 67,9 г больше, чем в контроле, убойный выход – 56,3 %.

Среднеарифметические значения морфологических показателей и индексов внутренних органов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние лактулозы на морфологические показатели внутренних органов кроликов в возрасте 105 суток (n = 20) /

Table 2 – The effect of lactulose on the morphological parameters of the internal organs of rabbits at the age of 105 days (n = 20)

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group	Опытная группа №1 / Experimental group No. 1		Опытная группа №2 / Experimental group No. 2	
		абсолютное значение / absolute value	± к контролю / ± to control	абсолютное значение / absolute value	± к контролю / ± to control
Масса сердца, г / Heart weight, g	7,4	7,7	+0,3	7,4	0
Индекс сердца, % / Heart Index, %	0,27	0,26	-0,01	0,26	-0,01
Масса печени, г / Liver weight, g	71,1	68,7	-2,4	68,5	-2,6
Индекс печени, % / Liver Index, %	2,55	2,34	-0,21	2,37	-0,18
Масса селезёнки, г / Weight of the spleen, g	1,6	1,5	-0,1	1,5	-0,1
Индекс селезёнки, % / Spleen Index, %	0,06	0,05	-0,01	0,05	-0,01
Масса почек, г / Kidney weight, g	6,6/6,3	7,0/6,9	+0,4/+0,6	6,7/6,5	+0,1/+0,2
Индекс почек, % / Kidney index, %	0,24/0,23	0,24/0,23	0	0,23/0,22	-0,01/-0,01
Масса кишечника, г / Intestinal mass, g	285,4	262,7	-2,7	259,3	-26,1
Индекс кишечника, % / Intestinal Index, %	10,23	8,95	-1,28	8,97	-1,26

Из данных таблицы 2 видно, что введение пребиотика лактулозы в рацион молодняка кроликов калифорнийской породы не оказало влияния на морфологические показатели внутренних органов. Вместе с тем, следует отметить, что масса кишечника кроликов опытной группы №1 была меньше на 22,7 г, у кроликов опытной группы №2 – на 26,1 г, чем в контроле.

Заключение. Таким образом, в ходе настоящего пилотного эксперимента было установлено, что использование пребиотика лактулозы при выращивании кроликов не вызывает негативных последствий. Введение лактулозы в рацион кроликов калифорнийской породы в течение 60 суток в дозировке

0,06 г/кг живой массы в сутки способствовало повышению убойного выхода на 3,1 %, а в дозировке 0,12 г/кг – на 0,5 %. Абсолютный и среднесуточный приросты живой массы кроликов в опытной группе №1 увеличились на 10,5 % ($p < 0,05$), в группе №2 – на 5,8 % (абсолютный) и 5,6 % (среднесуточный) по отношению к контролю, что говорит об увеличении показателей продуктивности и перспективе дальнейшего исследования влияния лактулозы на организм молодняка кроликов.

Масса исследованных внутренних органов не претерпела критических изменений. Вместе с тем следует отметить, что масса кишечника кроликов опытной группы №1 оказалась на 22,7 г меньше, а у кроликов

опытной группы №2 – на 26,1 г меньше, чем в контроле.

По результатам проведенного пилотного эксперимента принято решение дозировку лактулозы 0,06 г/кг живой массы в сутки взять

за исходное значение, за отправную точку от которой следует отталкиваться в дальнейших исследованиях, в том числе при изучении влияния этого пребиотика на состояние иммунитета кроликов.

Список литературы

1. Данилевская Н. В., Субботин В. В. Дисбактериозы у мелких домашних животных. М.: Зоомедлит, КолосС, 2010. С. 5-6.
2. Amaravadhi S. Ch., Mallam M., Manthani G. P., Komireddy K. R. Effect of dietary supplementation of probiotics and enzymes on the haematology of rabbits reared under two housing systems. *Veterinary World*. 2012;(5 (12)):748-753. DOI: <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.748-753>
3. Birolo M., Trocino A., Tazzoli M., Xiccato G. Effect of feed restriction and feeding plans on performance, slaughter traits and body composition of growing rabbits. *World Rabbit Sci.* 2017;25(2):113-122. DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2017.6748>
4. Cheryomushkina I. V., Korneeva O. S. Innovative biotechnology probiotic feed additives c and immunostimulatory effects. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2017;10(4):1165-1167. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2017.00210.4>
5. Интизаров М. М. Микрофлора тела животных. М.: MBA, 1994. 20 с.
6. Van Loo J., Cummings J., Delzenne N., Englyst H., Franck A., Hopkins M., Kok N., Macfarlane G., Newton D., Quigley M., Roberfroid M., van Vliet T., van den Heuvel E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII AIRII-CT94-1095). *British Journal of Nutrition*. 1999;81(2):121-132. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114599000252>
7. Барановский А. Ю., Кондрашина Э. А. Дисбактериоз и дисбиоз кишечника. СПб., М., Харьков, Минск: Питер, 2002. 209 с.
8. Барановский А. Ю., Кондрашина Э. А. Дисбактериоз кишечника. СПб.: Питер, 2008. 240 с.
9. Алешков А. В., Земляк К. Г., Жебо А. В. Синергетические мультиэффекты лактулозы в обогащенных продуктах питания. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2018;(43):44-54. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-44-54>
10. Афанасьев Ю. И., Юрина Н. А., Котовский Е. Ф. Гистология, цитология и эмбриология. М.: Медицина, 2002. С. 325-347.
11. Григорьев П. Я., Яковенко Я. П. Лактулоза в терапии заболеваний органов пищеварения. *Российский гастроэнтерологический журнал*. 2000;(2):71-78
12. Allen W. D., Linggood M. A., Porter P. Enterococcus organisms and their use as probiotics in alleviating irritable bowel syndrome symptoms. *European Patent 05087 01 (B1)*. 1996. 29 с.

References

1. Danilevskaya N. V., Subbotin V. V. *Disbakteriozy u melkikh domashnikh zhivotnykh*. [Dysbiosis in small domestic animals]. Moscow: *Zoomedlit, KolosS*, 2010. pp. 5-6.
2. Amaravadhi S. Ch., Mallam M., Manthani G. P., Komireddy K. R. Effect of dietary supplementation of probiotics and enzymes on the haematology of rabbits reared under two housing systems. *Veterinary World*. 2012;(5 (12)):748-753. DOI: <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.748-753>
3. Birolo M., Trocino A., Tazzoli M., Xiccato G. Effect of feed restriction and feeding plans on performance, slaughter traits and body composition of growing rabbits. *World Rabbit Sci.* 2017;25(2):113-122. DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2017.6748>
4. Cheryomushkina I. V., Korneeva O. S. Innovative biotechnology probiotic feed additives c and immunostimulatory effects. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2017;10(4):1165-1167. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2017.00210.4>
5. Intizarov M. M. *Mikroflora tela zhivotnykh*. [Microflora of animal bodies]. Moscow: *MVA*, 1994. 20 p.
6. Van Loo J., Cummings J., Delzenne N., Englyst H., Franck A., Hopkins M., Kok N., Macfarlane G., Newton D., Quigley M., Roberfroid M., van Vliet T., van den Heuvel E. Functional food properties of non-digestible oligosaccharides: a consensus report from the ENDO project (DGXII AIRII-CT94-1095). *British Journal of Nutrition*. 1999;81(2):121-132. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0007114599000252>
7. Baranovskiy A. Yu., Kondrashina E. A. *Disbakterioz i disbioz kishechnika*. [Dysbacteriosis and intestinal dysbiosis]. Saint-Petersburg, Moscow, Kharkov, Minsk: *Piter*, 2002. 209 p.
8. Baranovskiy A. Yu., Kondrashina E. A. *Disbakterioz kishechnika*. [Intestinal dysbiosis]. Saint-Petersburg: *Piter*, 2008. 240 p.

9. Aleshkov A. V., Zemlyak K. G., Zhebo A. V. *Sinergeticheskie mul'tieffekty laktulozy v obogashchennykh produktakh pitaniya*. [Lactulose synergetic multieffects in the enriched food]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2018;(43):44-54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-44-54>

10. Afanasev Yu. I., Yurina N. A., Kotovskiy E. F. *Gistologiya, tsitologiya i embriologiya*. [Histology, cytology and embryology]. Moscow: Meditsina, 2002. pp. 325-347.

11. Grigorev P. Ya., Yakovenko Ya. P. *Laktuloza v terapii zabolevaniy organov pishchevareniya*. [Lactulose in the treatment of diseases of the digestive system]. *Rossiyskiy gastroenterologicheskiy zhurnal*. 2000;(2):71-78. (In Russ.).

12. Allen W. D., Linggood M. A., Porter P. *Enterococcus organisms and their use as probiotics in alleviating irritable bowel syndrome symptoms*. European Patent 05087 01 (B1). 1996. 29 c.

Сведения об авторах

Виноградова Евгения Васильевна, ветеринарный врач 1 категории, ГБУВ МО «Территориальное ветеринарное управление №4», пр-т Ленинского Комсомола, д. 1 в, г. Видное, Московская обл., Российская Федерация, 142701, e-mail: tervetmo_04@bk.ru

Чугреев Михаил Константинович, доктор биол. наук, доцент, профессор кафедры зоологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: priem@rgau-msha.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5876-8715>

✉ **Кульмакова Наталия Ивановна**, доктор с.-х. наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: priem@rgau-msha.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0372-6109>, e-mail: kni11@mail.ru

Information about the authors

Evgeniya V. Vinogradova, veterinarian of the 1st category, Territorial Veterinary Department No. 4, Leninsky Komsomol Avenue, 1 v, Vidnoye, Moscow region, Russian Federation, 142701, e-mail: tervetmo_04@bk.ru

Mikhail K. Chugreev, Doctor of Biological Sciences, associate professor, Professor of the Department of Zoology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: priem@rgau-msha.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5876-8715>

✉ **Natalia I. Kulmakova**, Doctor of Agricultural Sciences, associate professor, Professor of the Department of Veterinary Medicine of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: priem@rgau-msha.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0372-6109>, e-mail: kni11@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.935-947>

УДК 631.348



Экспериментальные исследования машины для сбора колорадского жука

© 2021. П. В. Заяц^{1✉}, П. П. Казакевич²

¹РУ «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,

²Национальная академия наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Проведено обоснование конструктивно-технологической схемы машины для механического сбора колорадского жука при получении экологически чистого картофеля. Экспериментально обоснованы параметры и режимы роторов с упруго-эластичными лопастями и регуляторами амплитуды их колебаний, обеспечивающие качественное стряхивание и сбор особей колорадского жука с ботвы при минимальном ее повреждении. Представлено описание лабораторной установки, экспериментального образца комбинированного агрегата, изложена методика проведения экспериментов. Исследования проводили в 2004-2008 годах на опытном поле Учреждения образования «Гродненский государственный аграрный университет» (УО «ГГАУ») и на полях Сельскохозяйственного производственного кооператива (СПК) «Занеманский» Мостовского района Гродненской области. Установлено, что с целью снижения энергоемкости процесса целесообразно взаимодействие ротора с ботвой в ее верхушечной части, где имеет место максимальная концентрация особей колорадского жука. Минимальное количество жука на ботве и отсутствие видимого ее повреждения достигаются при диаметре капроновых нитей лопасти 1,2-1,5 мм, а рациональное по условию энергоемкости положение регулятора от оси ротора составляет 0,14-0,18 м. При условии минимальной энергоемкости процесса и без видимого повреждения листьев диапазон окружной скорости ротора должен составлять 3-4 м/с. Получено уравнение регрессии второй степени, определяющее связь остаточного количества особей жука на ботве после прохода машины с окружной скоростью ротора $V_{окр} = 3,7$ м/с, положением регулятора на радиусе ротора $R_p = 0,16$ м и сечением лопасти $S_{лон} = 1800$ мм².

Ключевые слова: параметры, рабочий орган, лопасти, ротор, картофель.

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Заяц П. В., Казакевич П. П. Экспериментальные исследования машины для сбора колорадского жука. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):935-947. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.935-947>

Поступила: 17.08.2021

Принята к публикации: 29.11.2021

Опубликована онлайн: 15.12.2021

Experimental studies of a machine for collecting the Colorado potato beetle

© 2021. Pavel V. Zayats^{1✉}, Petr P. Kazakevich²

¹Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization", Minsk, the Republic of Belarus,

²National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, the Republic of Belarus

The substantiation of the design and technological scheme of the machine for the mechanical collection of the Colorado potato beetle in the production of environmentally friendly potato is carried out. The parameters and modes of rotors with flexible-elastic blades and regulators of the amplitude of their oscillations, providing high-quality shaking and collection of Colorado potato beetle individuals from the tops with minimal damage, have been experimentally substantiated. A description of the laboratory installation, an experimental sample of a combined unit is presented, and a methodology for conducting experiments is described. Experimental studies were carried out in 2004-2008 in the experimental field of the Educational institution "Grodno State Agrarian University" (UO "GGAU") and in the fields of the Agricultural production cooperative (SEC) "Zanemansky" of the Mostovsky district of the Grodno region. It was found that in order to reduce the energy intensity of the process, the interaction of the rotor with the tops in its apical part, where the maximum concentration of Colorado potato beetle individuals takes place, is expedient. The minimum amount of beetle on the tops and the absence of visible damage to it are achieved when the diameter of the nylon threads of the blade is 1.2-1.5 mm, and the rational position of the regulator from the rotor axis is 0.14-0.18 m according to the energy intensity condition. Under the condition of minimal energy consumption of the process and without visible damage to the leaves, the circumferential speed range of the rotor should be 3-4 m/s. A regression equation of the second degree is obtained, which determines the relationship of the residual number of beetle individuals on the tops after the passage of the machine with the circumferential speed of the rotor V_{oc} , the position

of the regulator on the radius of the rotor R_r and the cross section of the blade S_{bl} . The optimal values were determined by solving the equation: $V_{oc} = 3.7 \text{ m/s}$, $R_r = 0.16 \text{ m}$, $S_{bl} = 1800 \text{ mm}^2$.

Keywords: parameters, working body, blades, rotor, potato

Acknowledgments: the work was done without financial support within the framework of the initiative topics.

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

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

For citation: Zayats P. V., Kazakevich P. P. Experimental studies of a machine for collecting the Colorado potato beetle. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):935-947. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.935-947>

Received: 17.08.2021

Accepted for publication: 29.11.2021

Published online: 15.12.2021

Картофель, который в Беларуси называют вторым хлебом, используется не только на продовольственные цели, но и на технические – для переработки на крахмал, патоку, спирт и другие продукты, также применяется на корм животным.

От колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*, Say) потери урожая данной культуры могут составлять практически 50 %. Химический метод, наиболее широко применяемый для борьбы с вредителем, непригоден для получения экологически чистого картофеля, о чем свидетельствует ряд публикаций [1, 2, 3, 4]. Получить такой картофель можно, если обеспечить своевременное и качественное удаление жука с ботвы. Исследование, разработка и совершенствование машин и их рабочих органов для механического сбора особей колорадского жука с ботвы является актуальной задачей при выращивании экологически чистого картофеля [5, 6, 7, 8]. Российские и белорусские исследователи большое внимание в своих работах обращают на современные наукоемкие технологии в перспективных способах борьбы с колорадским жуком, тем самым увеличивая урожайность картофеля, вопросы биорегуляции вредителей, достижения в защите посадок картофеля от колорадского жука как химическими, так и механическими способами [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Цель исследования – проверка теоретических предпосылок и расчетов режимов работы роторов с упруго-эластичными лопастями, а также определение конструктивно-режимных параметров рабочих органов машины для сбора колорадского жука, которые невозможно определить теоретическими исследованиями.

Научной новизной исследования является обоснование конструктивно-технологической

схемы машины для механического сбора колорадского жука при получении экологически чистой продукции. Экспериментально обоснованы параметры и режимы роторов с упруго-эластичными лопастями и регуляторами амплитуды их колебаний, обеспечивающие качественное стряхивание и сбор особей колорадского жука с ботвы при минимальном ее повреждении, что подтверждено тремя патентами Республики Беларусь на полезные модели^{1,2,3}.

Материал и методы. Экспериментальные исследования проводили в 2004-2008 годах на опытном поле Учреждения образования «Гродненский государственный аграрный университет» (УО «ГГАУ») и на полях Сельскохозяйственного производственного кооператива (СПК) «Занеманский» Мостовского района Гродненской области.

Программа исследований предусматривала:

- изучение физико-механических свойств ботвы картофеля и особей колорадского жука (силы упругости ботвы, скорости витания и насыпной плотности особей колорадского жука, концентрации особей по ярусам высоты ботвы);
- исследование параметров лопастей активного рабочего органа;
- проведение многофакторного эксперимента по обоснованию параметров активного ротора;
- обработка результатов экспериментов и обоснование рациональных параметров рабочих органов машины для сбора жука.

Для выполнения намеченной программы потребовалось решение следующих задач:

- разработать и изготовить лабораторную установку для экспериментального исследования конструктивно-режимных параметров активного рабочего органа для сбора колорадского жука;

¹Пестис В. К., Ладутько С. Н., Заяц Э. В., Заяц П. В. Комбинированный агрегат для ухода за картофелем: пат. на полезную модель 1961 Республика Беларусь. № u20040469; заявл. 15.10.2004; опубл. 30.06.2005. 6 с.

URL: <http://search.ncip.by/database/index.php?pref=mod&lng=ru&page=3&target=2181>

²Пестис В. К., Ладутько С. Н., Заяц Э. В., Заяц П. В. Комбинированный агрегат для ухода за картофелем: пат. на полезную модель 3874 Республика Беларусь. № u20070170; заявл. 12.03.2007; опубл. 30.10.2007. 3 с.

URL: <http://search.ncip.by/database/index.php?pref=mod&lng=ru&page=3&target=4291>

³Пестис В. К., Ладутько С. Н., Заяц Э. В., Казакевич П. П., Заяц П. В. Тележка для сбора колорадского жука: пат. на полезную модель 4041 Республика Беларусь. № 120070400; заявл. 31.05.2007; опубл. 30.12.2007. 6 с.

URL: <http://search.ncip.by/database/index.php?pref=mod&lng=ru&page=3&target=4521>

– разработать и изготовить экспериментальный образец комбинированного агрегата для сбора колорадского жука и рыхления междурядий;

– выбрать стандартное оборудование для исследований;

– уточнить методику проведения экспериментов и обработки полученных результатов, сравнить их с теоретическими предпосылками.

Физико-механические свойства ботвы картофеля и особей жука определяли согласно общепринятым методикам^{4,5}. Экспериментально устанавливали силу упругости и размеры ботвы

в период сбора жука, размеры, массу 1000 его особей, насыпную плотность и скорость витания особей насекомого, влажность и температуру окружающего воздуха.

Для определения массы особей использовались весы лабораторные ВЛТЭ-500. При измерении линейных размеров, в зависимости от целей и объектов исследования, использовались линейка, рулетка, штангенциркуль.

При получении величины упругости ботвы картофеля и лопастей измеряли усилие их прогиба с помощью лабораторной установки (рис. 1).

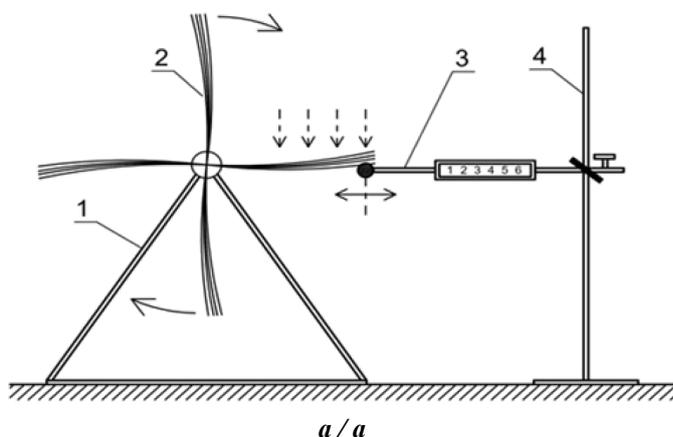


Рис. 1. Схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки для определения упругости лопастей ротора и процесса работы: 1 – рама; 2 – лопасти; 3 – цифровой динамометрический ключ; 4 – штатив / Fig. 1. Schematic (a) and general view (b) of a laboratory installation for determining the elasticity of the rotor blades and the operation process: 1 – frame; 2 – blades; 3 – digital torque wrench; 4 – tripod

Для этих целей использовали ключ динамометрический электронный ЭДК. Диапазон измерения ЭДК крутящего момента 20-200 Н·м. Скорость воздушного потока, относительную влажность воздуха и температуру регистрировали термоанемометром-гигрометром ТКА-ПКМ (модель 60). Скорость витания особей определяли в регулируемом по величине вертикальном воздушном потоке (рис. 2).

При предварительных исследованиях скорость воздушного потока регистрировали чашечным анемометром и жидкостным микроанемометром.

При определении массы особей колорадского жука находили массу 1000 личинок разных возрастов, а также массу взрослых особей. Для измерения их насыпной массы использовали мерную емкость, затем подсчитывали количество особей колорадского жука равномерно каждого возраста, определяли

их вес и объем. Характерные режимы исследуемого процесса и конструктивное исполнение рабочих органов, установок и опытных образцов машин фотографировали.

Кроме того, оценивали степень повреждения ботвы картофеля. После каждого прохода машины для сбора колорадского жука подсчитывали поврежденные кусты и вычисляли количество поврежденных растений в процентах по формуле:

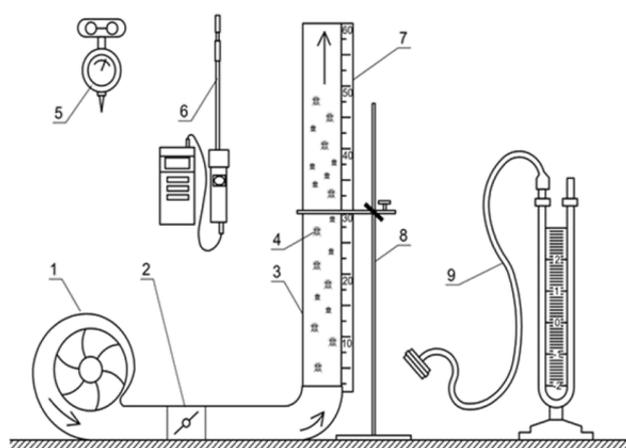
$$K_{\text{кп}} = \frac{n_{\text{кп}}}{n_{\text{общ}}} \cdot 100\%, \text{ где} \quad (1)$$

$n_{\text{кп}}$ – количество поврежденных кустов, шт./10 м²;
 $n_{\text{общ}}$ – общее количество кустов, шт./10 м².

В качестве контроля подсчитывали количество оторванных и травмированных листьев, максимальное число которых не должно превышать 20 % от их общего количества на длине рядка 14,3 м.

⁴Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. Тр. ВИСХОМ, 1970. 423 с.

⁵Ковалев Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: Родник, 1998. 208 с.



a / a



б / b

Рис. 2. Схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки для определения скорости витания особей колорадского жука: 1 – пылесос (нагнетающий вентилятор); 2 – дроссельная заслонка; 3 – стеклянная колба; 4 – колорадский жук; 5 – анемометр; 6 – термоанемометр-гигрометр; 7 – линейка; 8 – штатив; 9 – жидкостный микроманометр /

Fig. 2. Schematic (a) and general view (b) of a laboratory setup to determine the hovering speed of Colorado beetle individuals: 1 – vacuum cleaner (blower); 2 – throttle valve; 3 – glass flask; 4 – Colorado beetle; 5 – anemometer; 6 – thermoanemometer-hygrometer; 7 – ruler; 8 – tripod; 9 – liquid micromanometer

При нахождении силы упругости ботвы, в зависимости от точки приложения усилия по ее высоте, подбирали кусты, состоящие из шести стеблей высотой 0,45 м. Металлический стержень, связанный с динамометрическим ключом, перемещали горизонтально и фиксировали максимальное усилие прогиба ботвы в разных точках по ее высоте.

При проведении однофакторного эксперимента по определению остаточного количества особей колорадского жука на ботве, в зависимости от диаметра нитей лопастей ротора, подсчитывали количество особей колорадского жука до и после взаимодействия кустов картофеля с лопастями ротора на площади 10 м². Окружная линейная скорость составляла 1 м/с, а положение регулятора от оси вращения ротора – 0,14 м.

Все однофакторные опыты проводили в трехкратной повторности. Промахи результатов опытов оценивали с помощью критерия Стьюдента. Полученные математические модели проверяли на адекватность по F-критерию Фишера и однородность дисперсий по критерию Кохрена.

Для адекватной квадратичной модели проводили проверку значимости коэффициентов полученных уравнений регрессии, для чего рассчитывали доверительный интервал. Поскольку был принят ортогональный план опытов, то коэффициенты регрессии не пересчитывались.

Для проведения лабораторных исследований по определению параметров активного ротора была изготовлена ручная установка с одним ротором с упругими элементами, аналогичными элементам машины. На рисунке 3 приведена кинематическая схема и общий вид установки исследования параметров ротора.

Установка позволяет изменять частоту вращения рабочего органа, положение регулятора амплитуды колебаний лопастей рабочего органа в горизонтальной и вертикальной плоскостях, упругость лопастей и положение рабочего органа по высоте.

На основании результатов исследований разработана и изготовлена машина, создан экспериментальный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля, состоящий из трактора Беларус 82.1, машины для сбора колорадского жука и культиватора-окучника КНО-2,8, навешенных соответственно на переднее и заднее навесные устройства трактора (рис. 4).

Оценка эффективности применения рабочих органов для сбора особей колорадского жука делалась на основе сопоставления результатов подсчета насекомых на кустах картофеля до и после сбора. Основными показателями, по которым можно судить об обилии особей колорадского жука на картофеле, являются их численность на одном кусте растений картофеля и единице площади посадок. Условно

численность особей колорадского жука на 1 га площади посадок картофеля можно определить, подсчитав число особей на площади 10 м² (на длине рядка 14,3 или 11,1 м при ширине междурядий соответственно 0,7 или 0,9 м).

Тогда, $n_{га} = 1000 \cdot n_{10}$, (2)
 где $n_{га}$ – количество особей колорадского жука на площади 1 га; n_{10} – количество особей жука на длине рядка 14,3 м или 11,1 м при ширине междурядий соответственно 0,7 или 0,9 м.

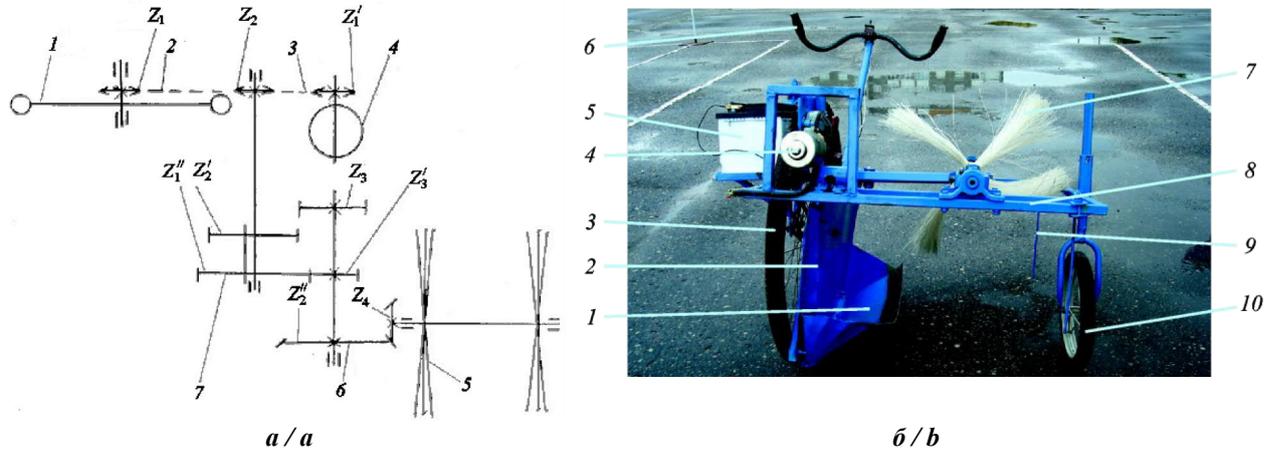


Рис. 3. Кинематическая схема (а): 1 – опорно-приводное колесо; 2, 3 – цепные передачи; 4 – электродвигатель с изменяемой частотой вращения; 5 – ротор; 6 – коническая передача; 7 – редуктор с изменяемым передаточным числом зубьев; z_1 – ведущая звездочка от опорного колеса; z_2 – ведомая звездочка от электродвигателя; z_3 – ведомая звездочка вторичной передачи; z_4 – ведомая звездочка конической передачи; z_1' – ведущая звездочка от электродвигателя; z_2' – ведущая звездочка вторичной передачи; z_3' – ведомая звездочка первичной передачи; z_4' – ведущая звездочка первичной передачи; z_2'' – ведущая звездочка конической передачи; общий вид (б) установки для исследования параметров ротора: 1 – емкость для сбора колорадского жука; 2 – экран; 3 – опорно-приводное колесо; 4 – электродвигатель с регулируемой частотой вращения; 5 – аккумуляторная батарея; 6 – кронштейн с ручками; 7 – ротор; 8 – рама; 9 – регулятор амплитуды колебаний лопастей ротора; 10 – опорное колесо /

Fig. 3. Installation kinematic diagram (a): 1 – bearing-driven wheel; 2, 3 – chain gears; 4 – electric motor with variable speed; 5 – rotor; 6 – bevel gear; 7 – reducer with variable number of teeth; z_1 – drive sprocket from the bearing wheel; z_2 – driven sprocket from the electric motor; z_3 – driven sprocket of the secondary gear; z_4 – bevel drive sprocket; z_1' – motor drive sprocket; z_2' – secondary drive sprocket; z_3' – primary drive sprocket; z_4' – primary drive sprocket; z_2'' – bevel drive sprocket; general view (b) for research of rotor parameters: 1 – a container for collecting a Colorado potato beetle; 2 – a screen; 3 – a support-drive wheel; 4 – an electric motor with an adjustable speed; 5 – a battery; 6 – a bracket with handles; 7 – a rotor; 8 – a frame; 9 – a regulator of the amplitude of the rotor blades; 10 – a support wheel



Рис.4. Комбинированный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля в работе /

Fig. 4. Combined unit for collecting Colorado potato beetle and potato hoeing in operation

При проведении многофакторных исследований ротора с упруго-эластичными лопастями и регулятором амплитуды их колебаний проведена серия опытов с целью выявления

влияния конструктивно-режимных параметров рабочего органа и состояния ботвы на качественные показатели сбора колорадского жука. Теоретическими исследованиями установлены

влияющие на оценочные параметры факторы: диаметр ротора, количество и ширина лопастей, параметры и взаимное расположение

лотка и ротора, положение регулятора амплитуды колебания лопасти по высоте куста и радиусу ротора (табл. 1).

Таблица 1 – Основные факторы, влияющие на качественные показатели сбора колорадского жука / Table 1 – The main factors affecting the quality indicators of the collection of the Colorado potato beetle

Фактор / Factor	Уровни регулирования / Levels of regulation	
	нижний / lower	верхний / upper
Окружная скорость ротора, м/с / Circumferential speed of the rotor, m/s	3,0	4,0
Положение регулятора по радиусу ротора, см / The position of the regulator along the radius of the rotor, cm	10	30
Площадь поперечного сечения лопасти, мм ² / The cross-sectional area of the blade, mm ²	1 400	1 900
Положение регулятора амплитуды колебаний лопасти по высоте куста, см / The position of the regulator of the amplitude of vibrations of the blade along the height of the bush, cm	-15	+5
Диаметр капроновых нитей, мм / Diameter of nylon threads, mm	1,0	1,6
Амплитуда колебаний лопасти, м / The amplitude of the blade vibrations, m	0,05	0,15
Диаметр ротора, м / The diameter of the rotor, m	0,50	0,60
Количество лопастей ротора, шт. / The number of rotor blades, pcs.	2	8
Ширина лотка, м / The width of the tray, m	0,25	0,50
Ширина лопастей, м / The width of the blades, m	0,1	0,8
Упругость или изгибающий момент ботвы, Н·м / The elasticity or bending moment of the tops, N·m	0,2	6,0
Влажность ботвы, % / Humidity of the tops, %	70	90
Высота ботвы, м / Height of the tops, m	0,30	0,45

После проведения отсеивающих экспериментов и ранжирования факторов по значимости определены основные детерминирующие факторы, влияющие на качество сбора колорадского жука: окружная скорость ротора, удельная сила упругости лопасти или связанная с ней площадь поперечного сечения лопасти, амплитуда колебания лопасти или положение регулятора по радиусу ротора (расстояние от регулятора амплитуды колебания лопасти до оси ротора).

Результаты предварительных опытов показали, что при сборе жука первые 2-4 ч после дождя происходит повреждение ботвы в виде обрыва отдельных листьев, что нарушает технологический процесс. При сборе колорадского жука в сухую погоду (при относительно меньшей влажности растения) повреждения ботвы практически не происходит.

Одним из вопросов, возникающих при использовании ротора с упруго-эластичными лопастями, является обоснование эластичности лопастей. При ее снижении лопасть будет приобретать свойства упругого рабочего органа

и для ее прогиба потребуется значительное усилие. При работе упругой лопасти может наблюдаться повреждение ботвы. При значительном уменьшении упругости (увеличении эластичности) следует ожидать снижения качества сброса особой колорадского жука с ботвы.

Упругость, как мера податливости тела деформации $X_{\text{лоп}}$, определяется при изгибе бруса по формуле:

$$F_{y1} = E_{\text{лоп}} \cdot J_{\text{лоп}}, \quad (3)$$

где $E_{\text{лоп}}$ – модуль упругости лопасти, кг·м²;

$J_{\text{лоп}}$ – осевой момент поперечного сечения лопасти, м⁴.

Осевой момент для лопасти можно найти с учетом ее прямоугольного поперечного сечения по формуле $I_{\text{лоп}} = \frac{B_{\text{лоп}} \cdot b_{\text{лоп}}^3}{12}$.

Осевой момент для стебля картофеля можно определить как для круглого стержня диаметром D_c по формуле $I_k = \frac{\pi \cdot D_c^4}{64}$.

Осевой момент для куста, состоящего из n_c стеблей, по формуле:

$$I_k = \sum \frac{\pi \cdot D_c^4}{64} \approx \frac{\pi \cdot D_c^4 \cdot n_c}{64}$$

Тогда, для лопасти прямоугольного поперечного сечения упругость определяется по формуле:

$$F_{y1} = \frac{E_{\text{лоп}} \cdot B_{\text{лоп}} \cdot b_{\text{лоп}}^3}{12}, \quad (4)$$

для стебля круглого сечения:

$$F_{y1c} = \frac{E_c \cdot \pi \cdot R_c^4}{4} = \frac{E_c \cdot \pi \cdot D_c^4}{64}, \quad (5)$$

для куста, состоящего из n_c стеблей:

$$F_{y1k} \approx \frac{E_c \cdot \pi \cdot D_c^4 \cdot n_c}{64}. \quad (6)$$

Из приведенных формул видно, что для нахождения упругости лопасти и стеблей картофеля требуется определение экспериментальным путем модулей их упругости. Так как лопасть состоит из собранных тонких кусков капроновых нитей одинакового диаметра в пучки, закрепленные практически на оси ротора в отверстиях круглого сечения, то упругость такой лопасти при предварительных расчетах можно определить по формуле:

$$F_{y1} = E \cdot \left(\sum \frac{\pi \cdot D_{\text{нк}}^4}{64} \right) = E \cdot \left(\sum \frac{\pi \cdot R_{\text{нк}}^4}{4} \right) \approx \frac{E_{\text{лоп}} \cdot \pi \cdot D_{\text{нк}}^4 \cdot n_n}{64}, \quad (7)$$

где $E_{\text{лоп}}$ – модуль упругости для капроновых нитей; $D_{\text{нк}}$ и $R_{\text{нк}}$ – соответственно диаметр и радиус капроновых нитей, м; n_n – количество капроновых нитей.

Поскольку упруго-эластичные лопасти ротора собраны из одного материала и составляют единое целое, то в расчетах вместо упругости можно воспользоваться функционально зависимой с ней площадью поперечного сечения лопасти.

Результаты и их обсуждение. При исследовании свойств особей колорадского жука определялись насыпная плотность и масса 1000 особей, а также скорость витания особей колорадского жука в период личиночной стадии. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения некоторых свойств особей колорадского жука / Table 2 – Results of determining some properties of individuals of the Colorado potato beetle

Показатель / Indicator	Среднее значение / Average value
Масса 1000 взрослых особей колорадского жука, кг / Weight of 1000 adult individuals of the Colorado potato beetle, kg	1,6-1,7
Насыпная плотность особей колорадского жука (в период личиночной стадии), кг/м ³ / Bulk density of Colorado potato beetle individuals (during the larval stage), kg/m ³	600-900
Скорость витания особей колорадского жука (в период личиночной стадии), м/с / Soaring speed of Colorado potato beetle individuals (during the larval stage), m/s	8,0-10,2

Наблюдения показали, что личинки колорадского жука в ясную солнечную погоду обычно располагаются на верхней части листьев, причем, как правило, в верхней зоне кустов картофеля. Первые личинки обычно появляются в середине июня. Высота ботвы в это время равна 0,25-0,40 м.

Оценка сцепления личинок различных возрастов с листьями растения при воздействии на данное растение лопастей ротора показала, что более прочно удерживаются на ботве личинки младших возрастов, и особенно первого, менее прочно – личинки старших возрастов и взрослые особи колорадского жука.

Согласно результатам определения массы 1000 особей и насыпной плотности особей колорадского жука в период сбора, т. е. в период личиночной стадии, имеет место рост этих значений с увеличением их возраста. Однако с практической точки зрения для расчета объема накопительных емкостей чаще

приходится пользоваться усредненной насыпной плотностью особей взрослых жуков вместе с личинками, которая во время проведения опытов составляла 600-900 кг/м³.

Определение силы упругости ботвы, в зависимости от точки приложения усилия по высоте, установлено, что по мере снижения точки приложения усилия и приближения ее к основанию стеблей сила упругости увеличивается, причем наиболее существенное ее увеличение происходит в нижней части стеблей – вблизи основания. На рисунке 5 приведена графическая зависимость силы упругости ботвы куста высотой 0,45 м, состоящего из шести стеблей, от точки приложения усилия для средних условий в период сбора особей колорадского жука, что соответствует фазе «смыкание ботвы» (до начала фазы «бутонизация»). Из графика видно, что при снижении точки приложения усилия к ботве по высоте с 0,30 до 0,20 м сила упругости ботвы увеличивается в 2 раза.

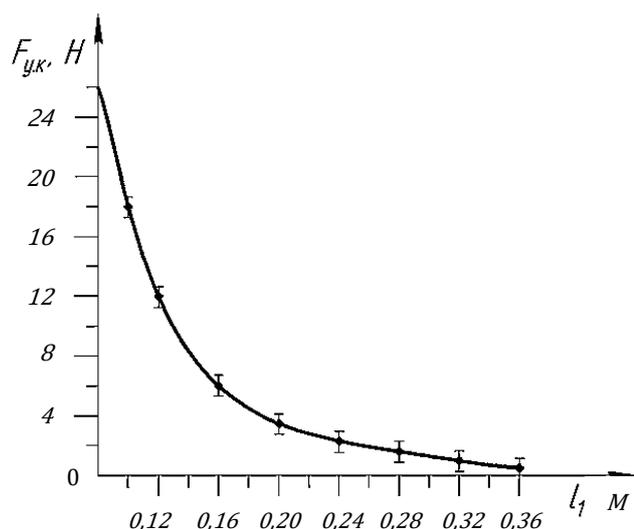


Рис. 5. Сила упругости ($F_{ук}$) ботвы куста из шести стеблей высотой 0,45 м в зависимости от точки приложения усилия на высоте ботвы от основания (l_1) /

Fig. 5. The elastic force ($F_{ук}$) of the tops of a bush of six stems with a height of 0.45 m, depending on the point of application of the force at the height of the tops from the base (l_1)

Тогда, согласно уравнению

$$P_{в2} = \frac{3 \cdot E_{бот} \cdot l_{бот} \cdot A_{бот}}{l_{бот}^3}, \quad \text{дополнительная}$$

мощность на привод активного ротора также увеличится примерно в 2 раза. Следовательно, взаимодействие ротора с ботвой картофеля целесообразно обеспечить в верхней части стеблей. В этом случае уменьшается сила упругости стеблей, что в итоге приводит к снижению энергоемкости технологического процесса стряхивания особей колорадского жука с ботвы картофеля, усиливает колебание ботвы и увеличивает эффект сбора особей.

Определение остаточного количества особей колорадского жука ($n_{ж}$) на 10 м^2 посадок картофеля в зависимости от диаметра капроновых нитей ($d_{нк}$) лопасти показало, что более высокое качество их сброса достигается при толщине нитей 1,2; 1,3 и 1,5 мм (рис. 6). При этом окружная скорость рабочего органа составляла 1 м/с, положение регулятора амплитуды колебания лопастей от оси ротора 0,14 м.

Анализ кривой, представленной на рисунке 6, показывает, что при уменьшении диаметра нитей до 1 мм остаточное количество особей существенно увеличивалось, что можно объяснить относительно небольшой силой упругости лопастей по сравнению с силой упругости ботвы. Увеличение диаметра капроновых нитей более 1,6 мм также нерационально, так как при этом сила их упругости увеличивается настолько, что при окружных скоростях рабочего органа более

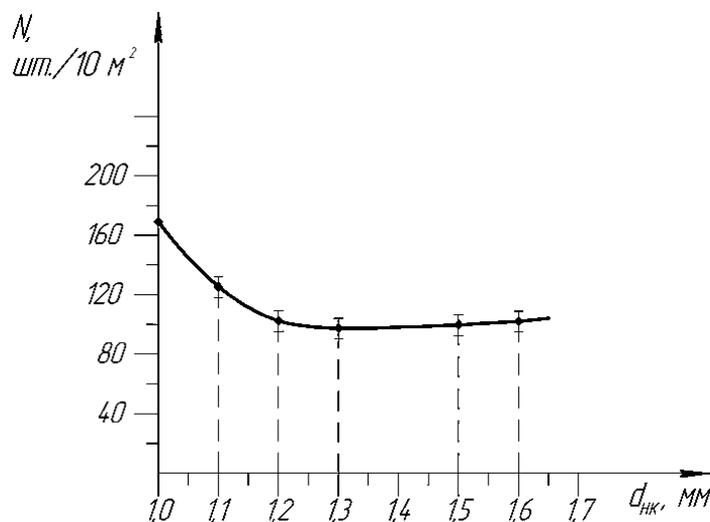


Рис. 6. Зависимость остаточного количества особей колорадского жука (N) от диаметра нитей лопастей ротора ($d_{нк}$) /

Fig. 6. Dependence of the residual number of individuals of the Colorado potato beetle (N) on the diameter of the threads of the rotor blades ($d_{нк}$)

4 м/с травмируются листья ботвы картофеля, отдельные из них отрываются. Результаты определения зависимости силы упругости лопасти ротора от положения регулятора амплитуды колебаний (рис. 7, а) подтверждают, что по мере приближения регулятора к оси ротора сила упругости возрастает. То есть с целью снижения энергоемкости процесса следует работать при большем удалении регулятора от оси ротора. Однако при этом можно ожидать уменьшения

4 м/с травмируются листья ботвы картофеля, отдельные из них отрываются.

Результаты определения зависимости силы упругости лопасти ротора от положения регулятора амплитуды колебаний (рис. 7, а) подтверждают, что по мере приближения регулятора к оси ротора сила упругости возрастает. То есть с целью снижения энергоемкости процесса следует работать при большем удалении регулятора от оси ротора. Однако при этом можно ожидать уменьшения

количества сброшенных с ботвы особей колорадского жука, так как амплитуда колебания лопасти уменьшается.

При установке регулятора на расстоянии 0,15 м от оси вращения четырехлопастного ротора изгибаемая лопасть касается следующей лопасти. При дальнейшем приближении регулятора к оси ротора приращение силы упругости лопасти, определяемой как разница между данным и

предыдущим значениями, увеличивается более существенно (рис. 7, б). Повышение вызвано сопротивлением деформации последующей лопасти. Наиболее существенно сила упругости возрастает при $R_p < 0,14$ м. Поэтому работать в этом диапазоне, с точки зрения энергоемкости процесса, нецелесообразно. При удалении регулятора на расстояние 0,18 м и более усилие прогиба остается практически постоянным.

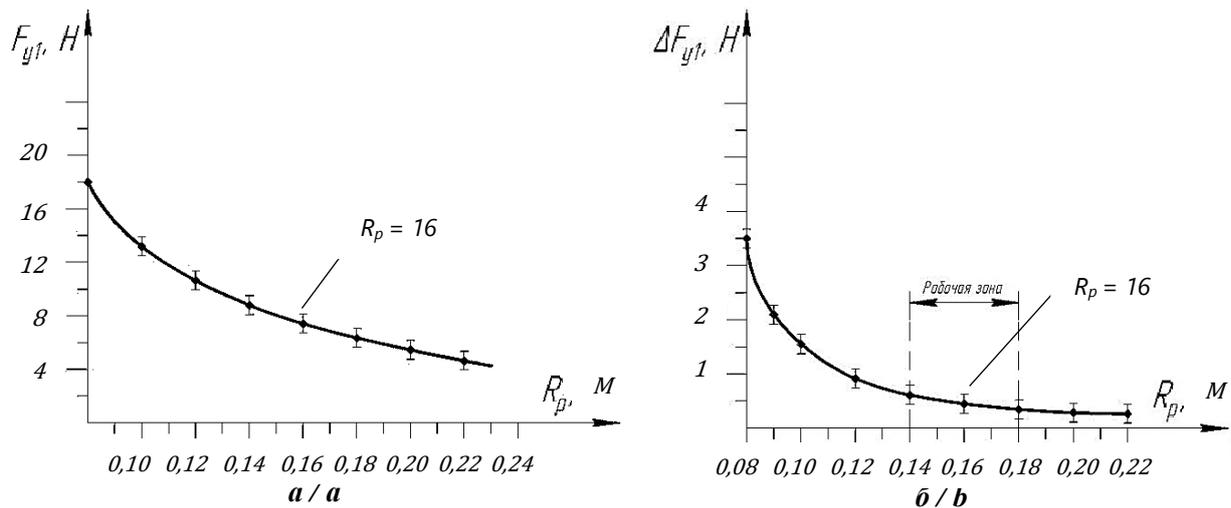


Рис. 7. Зависимости: а – силы упругости лопасти (F_{y1}); б – приращения силы упругости лопасти (ΔF_{y1}) от положения регулятора амплитуды колебаний (R_p) /

Fig. 7. The dependence: а – of the elastic force of the blade (F_{y1}); б – of the increment of the elastic force of the blade (ΔF_{y1}) on the position of the oscillation amplitude regulator (R_p)

Результаты дальнейших исследований подтвердили, что качество очистки ботвы картофеля от особей колорадского жука (причем во время опытов на кустах преобладали личинки первого и второго возрастов) в зависимости от положения регулятора амплитуды колебаний упруго-эластичных лопастей (рис. 8, а) при $R_p > 0,18$ см значительно ухудшается.

Анализ экспериментальных зависимостей (см. рис. 7, 8) позволяет определить, что рабочими положениями регулятора амплитуды колебаний лопастей ротора является диапазон значений $R_p = 0,14-0,18$ м.

Результаты исследования качества очистки кустов картофеля от особей колорадского жука в зависимости от окружной скорости рабочего органа (рис. 8, б) показали, что при увеличении окружной скорости от 1,5 до 3,0 м/с остаточное количество особей на кустах значительно уменьшается (от 80 до 37 шт./10 м²). При дальнейшем увеличении окружной скорости до 6,0 м/с остаточное

количество особей изменяется незначительно (от 21 до 18 шт./10 м²).

Таким образом, с учетом энергоемкости процесса и без значимого повреждения листьев ботвы картофеля целесообразна работа в диапазоне окружных скоростей лопастей ротора 3-4 м/с.

Результаты многофакторного эксперимента. В соответствии с целью исследований определяли влияние взаимодействия факторов (окружной скорости ротора $V_{окр}$, положения регулятора по радиусу ротора R_p и площади поперечного сечения лопасти $S_{лоп}$) на остаточное количество особей жука на ботве после прохода машины. При планировании многофакторного эксперимента были использованы различные методики⁶.

Результаты опытных данных обрабатывали на персональном компьютере с использованием электронных таблиц MS Excel. Матрица плана, интервалы и уровни варьирования факторов приведены в таблице 3.

⁶Бохан Н. И., Дмитриев А. М., Нагорский И. С. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства. Горки, 1986. 79 с.; Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1979. 416 с.

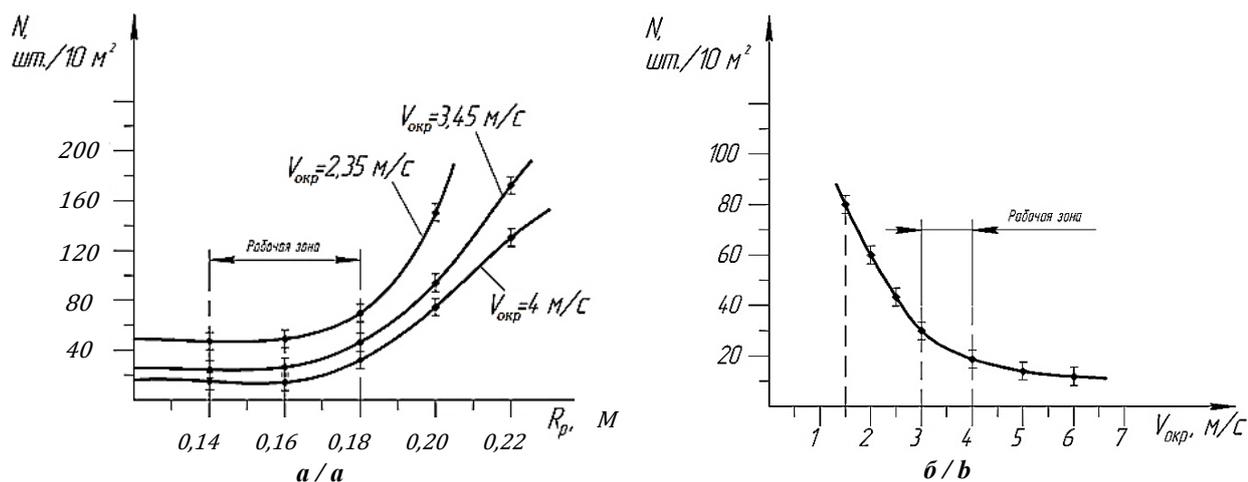


Рис. 8. Зависимости остаточного количества особей колорадского жука (N) на ботве картофеля от: а) положения регулятора амплитуды колебаний (R_p) и скорости ($V_{окр}$); б) окружной скорости ($V_{окр}$) ротора.

Fig. 8. Dependence of the residual number of individuals of the Colorado potato beetle (N) on the potato tops on: а) the position of the oscillation amplitude controller (R_p); б) the circumferential speed ($V_{окр}$) of the rotor

Таблица 3 – Матрица плана, интервалы и уровни варьирования факторов / Table 3 – The matrix of the plan, intervals and levels of variation of factors

Уровни варьирования факторов и план опытов / Levels of variation of factors and the plan of experiments	Окружная скорость ротора, $V_{окр}$, м/с / Circumferential speed of the rotor, $V_{окр}$, m/s	Положение регулятора по радиусу ротора, R_p , см / Position of the regulator along the radius of the rotor, R_r , cm	Площадь поперечного сечения лопасти, $S_{лоп}$, мм ² / Cross-sectional area of the blade, S_{bl} , mm ²	Остаточное количество особей жука, шт. (по повторностям опыта и среднее значение) / Residual number of beetle individuals, pcs. (according to the repetitions of the experiment and the average value)			
	x_1	x_2	x_3	N_1	N_2	N_3	$N_{ср}$
-1	3,0	10	1400				
0	3,5	20	1650				
+1	4,0	30	1900				
1	1	1	0	54	60	81	65
2	1	-1	0	30	32	43	35
3	-1	1	0	100	115	115	110
4	-1	-1	0	52	62	66	60
5	0	0	0	12	17	28	19
6	1	0	1	14	15	37	22
7	1	0	-1	60	68	82	70
8	-1	0	1	70	65	45	60
9	-1	0	-1	98	130	132	120
10	0	0	0	5	23	32	20
11	0	1	1	51	46	23	40
12	0	1	-1	128	136	96	120
13	0	-1	1	15	21	39	25
14	0	-1	-1	69	78	93	80
15	0	0	0	16	24	23	21

В результате обработки опытных данных получена адекватная модель регрессионного анализа остаточного количества особей жука в кодированном виде:

$$Y_p = 20,00 - 19,75 \cdot x_1 + 16,88 \cdot x_2 - 30,38 \cdot x_3 + 24,63 \cdot x_1^2 + 22,88 \cdot x_2^2 + 23,88 \cdot x_3^2. \quad (8)$$

Анализ математической модели (8) позволил установить оптимальные значения параметров, обеспечивающие минимум целевой функции $N = 3,1$:

- окружная скорость ротора $V_{окр} = 3,7$ м/с;
- положение регулятора по радиусу ротора $R_p = 16$ см;
- площадь поперечного сечения лопасти $S_{лоп} = 1800$ мм².

Выводы. 1. Экспериментальными исследованиями и математической обработкой их результатов установлено, что теоретические расчёты согласуются с экспериментальными данными.

2. Исследованием зависимости точки приложения стряхивающего усилия по высоте ботвы картофеля в зависимости от силы ее упругости установлено, что с целью снижения энергоёмкости процесса целесообразно взаимодействие ротора с ботвой в ее верхушечной части, где имеет место максимальная концентрация особей колорадского жука.

3. Минимальное остаточное количество особей колорадского жука на ботве и отсутствие видимого повреждения достигаются при диаметре капроновых нитей лопасти 1,2-1,5 мм.

4. Установлены экспериментальные зависимости силы упругости лопастей и остаточного количества особей жука от положения регуляторов амплитуды колебаний лопастей, которые позволили определить, что рациональное по условию энергоёмкости положение регулятора от оси ротора составляет $R_p = 0,14-0,18$ м.

5. Определена экспериментальная зависимость остаточного количества особей колорадского жука от окружной скорости ротора. При условии минимальной энергоёмкости процесса и без видимого повреждения листьев ботвы диапазон окружной скорости ротора должен составлять $V_{окр} = 3-4$ м/с.

6. Получено уравнение регрессии второй степени, устанавливающее связь остаточного количества особей жука на ботве картофеля после прохода машины с параметрами и режимами работы рабочего органа: окружной скоростью ротора $V_{окр}$, положением регулятора на радиусе ротора R_p и сечением лопасти $S_{лоп}$. Решением уравнения установлены оптимальные значения $V_{окр} = 3,7$ м/с, $R_p = 0,16$ м, $S_{лоп} = 1800$ мм².

Список литературы

1. Сонкина Е. В., Быховец С. Л. Мероприятия по ограничению вредоносности колорадского жука в посадках картофеля: аналитический обзор. Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК. Минск, 2003. 36 с.
2. Иванюк В. Г., Банадысев С. А., Журомский Г. К. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. Минск: Белпринт, 2005. 696 с.
3. Скурят А. Т. Влияние химических обработок против колорадского жука на энтомофауну картофельного поля в условиях БССР. Защита растений: сб. науч. тр. БелНИИ защиты растений. Минск, 1976. Вып. 1. С. 129-133.
4. Слобожанина Е. А. Биологические особенности колорадского жука в условиях Курганской области и обоснование мер борьбы с ним. Вестник Курганской ГСХА. 2019;(1):21-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39132191>
5. Казакевич П. П., Заяц П. В. Экспериментальная установка для обоснования параметров рабочих органов машины для сбора колорадского жука. Агропанорама. 2009;(5):9-11. Режим доступа: <https://ap.bsatu.by/arkhiv/17-2009/26-agropanorama-5-75-2009>
6. Бурдейко В. А., Дубень И. В. Машина и рабочие органы для сбора колорадского жука. Вестник Барановичского государственного университета. Серия: технические науки. 2018;(6):87-95. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170633>
7. Бурдейко В. А., Ловкис В. Б. Расчет щеток машины для сбора колорадского жука. Вестник Барановичского государственного университета. Серия: технические науки. 2021;(9):53-58.
8. Чайчиц Н. В. Становление и развитие научных исследований по механизации сельскохозяйственного производства (История создания и развития факультета механизации Белорусской с.-х. академии). Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2005;(3):74-79.
9. Линьков В. В. Регуляторные зоны биодинамической саморегуляции насекомых-вредителей: на примере колорадского жука (*Leptinotarsa Decemlineata* Say). Картофелеводство: сб. науч. тр. РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству»; редкол.: С. А. Турко (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2017. Т. 25. С. 141-156. Режим доступа: https://belbulba.by/wp-content/uploads/2018/05/Kartofelevodstvo_25.pdf

10. Малюга А. А., Чуликова Н. С., Енина Н. Н. Влияние минеральных удобрений и протравителей на колорадского жука и урожайность картофеля. Защита и карантин растений. 2018;(2):14-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32525267>
11. Гриценко В. В., Гусейнов К. Г., Постников А. Н., Митюшев И. М. Проблемы, достижения и перспективы в защите картофеля от колорадского жука. Картофель и овощи. 2020;(8):27-31. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.44.45.004>
12. Жевора С. В., Анисимов Б. В., Симаков Е. А., Овэс Е. В., Зебрин С. Н. Картофель: проблемы и перспективы. Картофель и овощи. 2019;(7):2-7. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.89.92.006>
13. Зейрук В. Н., Васильева С. В., Старовойтов В. И., Глез В. М. Механический способ борьбы с колорадским жуком. Защита и карантин растений. 2020;(3):16-17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42439297>
14. Капустин В. П., Киселёв Н. В. Обоснование перспективных способов борьбы с колорадским жуком. Современные наукоемкие технологии. 2005;(11):46-47. Режим доступа: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=26432>
15. Картофелеводство: результаты исследований, инновации, практический опыт. в 2 т. Под ред. Е. А. Симакова. М.: РАСХН, ВНИИ картоф. хоз-ва, 2008. 330 с.
16. Малюга А. А., Чуликова Н. С., Енина Н. Н., Тимошина Н. А., Федотова Л. С., Князева Е. В. Факторы формирования урожайности и качества картофеля. Современные технологии производства, хранения и переработки картофеля: мат-лы науч.-практ. конф. Под ред. С. В. Жеворы. М., 2017. С. 19-26.
17. Усков А. И., Можяев Е. Е., Ускова Л. Б., Горяников Ю. В., Закабунина Е. Н., Хаустова Н. А. Картофелеводство. М.: ИНФРА-М, 2021. 173 с.

References

1. Sonkina E. V., Bykhovets S. L. *Meropriyatiya po ogranicheniyu vredonosnosti koloradskogo zhuka v posadkakh kartofelya: analiticheskiy obzor*. [Measures to limit the harmfulness of the Colorado potato beetle in potato plantings: analytical review]. *Belorusskiy nauchnyy institut vnedreniya novykh form khozyaystvovaniya v APK*. Minsk, 2003. 36 p.
2. Ivanyuk V. G., Banadysev S. A., Zhuromskiy G. K. *Zashchita kartofelya ot bolezney, vreditel'nykh i sornyakov*. [Protection of potatoes from diseases, pests and weeds]. Minsk: *Belprint*, 2005. 696 p.
3. Skur'yat A. T. *Vliyanie khimicheskikh obrabotok protiv koloradskogo zhuka na entomofaunu kartofel'nogo polya v usloviyakh BSSR*. [The effect of chemical treatments against the Colorado potato beetle on the entomofauna of a potato field in the conditions of the BSSR]. *Zashchita rasteniy: sb. nauch. tr. BelNII zashchity rasteniy*. [Plant protection: collection of scientific works of BelNII of plant protection]. Minsk, 1976. Iss. 1. pp. 129-133.
4. Slobozhanina E. A. *Biologicheskie osobennosti koloradskogo zhuka v usloviyakh Kurganskoy oblasti i obosnovanie mer bor'by s nim*. [Biological features of the colorado potato beetle in the conditions of the kurgan region and justification of measures to fight against it]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2019;(1):21-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39132191>
5. Kazakevich P. P., Zayats P. V. *Eksperimental'naya ustanovka dlya obosnovaniya parametrov rabochikh organov mashiny dlya sbora koloradskogo zhuka*. [Experimental setup for substantiating the parameters of the working organs of a Colorado potato beetle harvesting machine]. *Agropanorama*. 2009;(5):9-11. (In Belarus). URL: <https://ap.bsatu.by/arkhiv/17-2009/26-agropanorama-5-75-2009>
6. Burdeyko V. A., Duben I. V. *Mashina i rabochie organy dlya sbora koloradskogo zhuka*. [Machine and operating tools for collecting of colorado potato beetle]. *Vestnik Baranovichskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: tekhnicheskie nauki* = BarSU Herald. Series Engineering. 2018;(6):87-95. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170633>
7. Burdeyko V. A., Lovkis V. B. *Raschet shchetok mashiny dlya sbora koloradskogo zhuka*. [Calculation of the brushes of the Colorado potato beetle collection machine]. *Vestnik Baranovichskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: tekhnicheskie nauki* = BarSU Herald. Series Engineering. 2021;(9):53-58. (In Belarus).
8. Chaychits N. V. *Stanovlenie i razvitie nauchnykh issledovaniy po mekhanizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva (Istoriya sozdaniya i razvitiya fakul'teta mekhanizatsii Belorusskoy s.-kh. Akademii)*. [Formation and development of scientific research on the mechanization of agricultural production (History of the creation and development of the Faculty of Mechanization of the Belarussian Agricultural Academy)]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy. 2005;(3):74-79. (In Belarus).
9. Linkov V. V. *Regulyatornye zony biodinamicheskoy samoregulyatsii nasekomykh-vreditel'nykh na primere koloradskogo zhuka (Leptinotarsa Decemlineata Say)*. [Regulatory zones of biodynamic self-regulation of insect pests: on the example of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa Decemlineata* Say)]. *Kartofelevodstvo: sb. nauch. tr. RUP «Nauch.-prakt. tsentr Nats. akad. nauk Belarusi po kartofelevodstvu i plodoovoshchevodstvu»; redkol.: S. A. Turko (gl. red.)* [et al]. [Potato growing: collection of scientific works of RUP "Scientific and practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on potato and fruit and vegetable growing"; editor: S. A. Turko (Chief Editor)]. Minsk, 2017. Vol. 25. pp. 141-156. URL: https://belbulba.by/wp-content/uploads/2018/05/Kartofelevodstvo_25.pdf

10. Malyuga A. A., Chulikova N. S., Enina N. N. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy i protraviteley na kolorad-skogo zhuka i urozhaynost' kartofelya*. [Influence of mineral fertilizers and disinfectants on the colorado potato beetle and potato yield]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(2):14-16. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32525267>

11. Gritsenko V. V., Guseynov K. G., Postnikov A. N., Mityushev I. M. *Problemy, dostizheniya i perspektivy v zashchite kartofelya ot koloradskogo zhuka*. [Problems and successes in potato protection from colorado potato beetle]. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2020;(8):27-31. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.44.45.004>

12. Zhevora S. V., Anisimov B. V., Simakov E. A., Oves E. V., Zebrin S. N. *Kartofel': problemy i perspektivy*. [Potato: problems and prospects]. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2019;(7):2-7. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.89.92.006>

13. Zeyruk V. N., Vasileva S. V., Starovoytov V. I., Glez V. M. *Mekhanicheskiy sposob bor'by s koloradskim zhukom*. [Mechanical method of controlling the colorado potato beetle]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2020;(3):16-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42439297>

14. Kapustin V. P., Kiselev N. V. *Obosnovanie perspektivnykh sposobov bor'by s koloradskim zhukom*. [Substantiation of perspective methods of fight colorado beetle]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*. 2005;(11):46-47. (In Russ.). URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=26432>

15. *Kartofelevodstvo: rezul'taty issledovaniy, innovatsii, prakticheskiy opyt*. [Potato growing: results of the research, innovations, practical experiment.]. V 2 vol. Pod red. E. A. Simakova. Moscow: RASKhN, VNII kartof. khoz-va, 2008. 330 p.

16. Malyuga A. A., Chulikova N. S., Enina N. N., Timoshina N. A., Fedotova L. S., Knyazeva E. V. *Faktory formirovaniya urozhaynosti i kachestva kartofelya*. [Factors of yield formation and quality of potato]. *Sovremennye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki kartofelya: mat-ly nauch.-prakt. konf.* [Modern technologies of potato production, storage and processing: Proceedings of scientific and practical conf.]. Pod red. S. V. Zhevory. Moscow, 2017. pp. 19-26.

17. Uskov A. I., Mozhaev E. E., Uskova L. B., Goryanikov Yu. V., Zakabunina E. N., Khaustova N. A. *Kartofelevodstvo*. [Potato growing]. Moscow: INFRA-M, 2021. 173 p.

Сведения об авторах

✉ **Заяц Павел Владимирович**, соискатель, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», ул. Кнорина, 1, Минск, Республика Беларусь, 220049, e-mail: belagromech@tut.by, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4887-0852>, e-mail: p_zayats@tut.by

Казакевич Пётр Петрович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, Национальная академия наук Беларуси, пр-т Независимости, 66, Минск, Республика Беларусь, 220072, e-mail: nasb@presidium.bas-net.by, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9102-2816>

Information about the authors

✉ **Pavel V. Zayats**, applicant, Republican Unitary Enterprise «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization», Knorin St. 1, Minsk, Republic of Belarus, 220049, e-mail: belagromech@tut.by, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4887-0852>, e-mail: p_zayats@tut.by

Piotr P. Kazakevich, DSc in Engineering, professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, foreign member of the Russian Academy of Sciences, The National Academy of Sciences of Belarus, 66, Nezavisimosti Ave., Minsk, Republic of Belarus, 220072, e-mail: nasb@presidium.bas-net.by, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9102-2816>

✉ – Для контактов / Corresponding author

**Новые селекционные достижения ученых Федерального аграрного
научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого**



Сорт озимой ржи Лика. Создан методом индивидуально-семейного отбора из гибридной популяции от направленного перекрестного опыления сортов Рада, Рушник, Кипрез, Ниоба, Леда.

Сорт среднепоздний, высокозимостойкий, урожайный, обладает высокой регенерационной способностью после поражения снежной плесенью (93 %), повышенной устойчивостью к видам ржавчины и листовостебельным заболеваниям. Урожайность сорта на естественном фоне достоверно превышает стандарт Фаленская 4 на 0,53 т/га, на провокационном по кислотности почвы фоне (рН 3,7...3,9; P₂O₅ – 72...108 мг/кг почвы; Al – 25,5...26,7 мг/100 г почвы) – на 0,60 т/га. Масса 1000 зерен – 30,5 г, что выше стандарта на 1,1 г. По технологическим свойствам сорт показал результаты на уровне стандарта.

Сорт продовольственного назначения, возможно использование на кормовые и технические цели. Рекомендуется возделывать в Северном и Волго-Вятском регионах РФ.

Авторы: Уткина Е. И., Шляхтина Е. А., Парфенова Е. С., Шамова М. Г., Набатова Н. А., Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К., Новикова Е. Я., Рылова О. Н.



Сорт ячменя ярового Спутник. Создан путем гибридизации сортов к-8730 (местный, Эфиопия) и Омский голозерный с последующим индивидуальным отбором в F₂.

Разновидность *nudum*. Сорт среднеспелый, вегетационный период составляет от 70 до 80 дней, на уровне стандартного сорта Белгородский 100. Характеризуется высокой устойчивостью к полеганию. Сорт формирует зерно с хорошими технологическими свойствами: натура – 703 г/л, содержание сырого протеина в зерне – 13,89 %, крахмала – 50,17 %, клетчатки – 2,34 %. Масса 1000 зерен 43-49 г. В естественных полевых условиях поражается (до 1,3 %) пыльной головней, протравливание семян является обязательным условием возделывания сорта. В естественно-провокационных условиях сорт Спутник среднеустойчив к сетчатой и темно-бурой пятнистости (степень поражения 15,0 и 17,0 %), устойчив к полосатой пятнистости (2,0 %). В конкурсных сортоиспытаниях сорт сформировал урожайность 2,74-5,30 т/га. В условиях стресса 2021 г. урожайность сорта составила на 1,26 т/га больше, чем у стандарта.

Авторы: Щенникова И. Н., Кокина Л. П., Корякова А. В., Шешегова Т. К., Зайцева И. Ю.



Сорт овса ярового Кировский 2. Создан методом внутривидовой гибридизации и индивидуального отбора из гибридной популяции, материнская форма – линия 651h03, отцовская форма – сорт Конкур. Адаптивный, урожайный по зерну (до 8,31 т/га), с высоким выходом (51,5 %) и качеством зерна (натура 573 г/л, пленчатость 23,4 %, масса 1000 зерен 38,5 г, белка 11,58 %, жира 5,51 %), выход крупы – 61,4 %.

Сорт устойчив к полеганию, имеет практическую устойчивость к пыльной головне и корончатой ржавчине, толерантен к повреждению шведской мухой, слабо поражается корневыми гнилями. ВЖКЯ не наблюдали. Превосходит стандарт Кречет по сбору сухого вещества на 1,78 т/га при показателе 7,46 т/га. Предполагаемый экономический эффект от использования нового сорта – дополнительный сбор зерна высокого качества 0,5-1,0 т/га при соблюдении технологии выращивания.

Сорт предлагается для производства фуражного и продовольственного зерна, выращивания в смеси и чистом виде для получения кормовой массы. Рекомендуется возделывать в Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Центрально-Черноземном регионах РФ.

Авторы: Баталова Г. А., Жуйкова О. А., Тулякова М. В., Кротова Н. В., Вологжанина Е. Н., Пермякова С. В., Ведерников Ю. Е., Шешегова Т. К., Бессонова Л. В., Вяткина Р. И.



Сорт гороха полевого Окский. Разновидность – *tenax, tenaci – fuscum*.

Сорт среднеспелый, вегетационный период 73-77 дней. Устойчивость к полеганию средняя, к осыпанию – высокая. Содержание белка в сухом веществе 15,3-24,4 %, в зерне – 22,4-25,4 %. Масса 1000 семян 150-210 г. В конкурсном сортоиспытании средняя урожайность семян составила 2,28 т/га, сухого вещества – 4,89 т/га. Максимальная урожайность: сухого вещества 10,11 т/га, семян 4,6 т/га – получена в 2015 году.

Сорт высокоустойчив к аскохитозу семян и клубеньковому долгоносику. Восприимчив к гороховой плодовой жорке.

Рекомендуется возделывать в одновидовых посевах, норма высева 1,2-1,3 млн семян на гектар. Назначение – зернофураж, зеленая масса, сено, силос, сенаж. Сорт предлагается для возделывания в Волго-Вятском регионе РФ.

Авторы: Пономарева С. В., Пислегина С. С., Градобоева Т. П., Пермякова Т. В., Бортникова Т. А.



Сорт клевера лугового Малахит. Создан методом искусственной гибридизации с последующим рекуррентным отбором устойчивых к фузариозу генотипов из гибридной популяции ГП-83×ГП-43 в лабораторных условиях (песчаная культура) и на полевом искусственном инфекционном фоне.

Сорт раннеспелый, двуукосный. Характеризуется дружным цветением, зацветает на 3-12 суток раньше районированного сорта-стандарта Дымковский и на 2-6 суток раньше раннеспелого сорта Трио. Зимостойкость высокая (до 100 %) – на уровне ст. Дымковский. Сбор сухого вещества – до 20,52 т/га, в среднем – 11,38 т/га (+0,68 т/га к ст. Дымковский), сбор белка в первый и второй годы пользования – соответственно 1,97 и 0,8 т/га. Урожайность семян за годы изучения составила в среднем 3,62 ц/га – на 0,61 ц, или 20,3 % выше стандарта.

В естественных условиях поражается корневыми гнилями в очень слабой и слабой степени – на 9,1-10,3 % слабее ст. Дымковский, склеротиниозом, антракнозом, аскохитозом – в слабой и средней степени, на уровне стандарта.

Авторы: Арзамасова Е. Г., Попова Е. В., Грипась М. Н., Онучина О. Л.



Сорт льна-долгунца Фалёнский. Создан методом индивидуального двукратного отбора из гибридной комбинации [(Симахинский х Ярославский кряж (к-7704)) х Тверца]. Семена овальной формы, плоские при созревании коричневые, масса 1000 семян 4,73 г.

Сорт среднеспелый, продолжительность вегетационного периода в среднем 76 дней. Стебель цилиндрический, покрыт восковым налетом, высотой 70-80 см. Сорт урожайный по соломе (до 6,76 т/га) и семенам (до 0,96 т/га), с высоким содержанием (27,5 %) и качеством волокна (гибкость волокна 47,6 мм, удельная прочность 20,8 кгс, расчетная добротность пряжи 27,02 км).

Сорт адаптивный, устойчив к полеганию и осыпанию, в средней степени поражается фузариозным увяданием на инфекционно-провокационном фоне.

Предлагается для возделывания в Волго-Вятском регионе.

Авторы: Кощеева Н. С., Краева С. Н., Окишева Т. И., Волохина Л. Н.



Сорт жимолости синей Союз. Создан методом отбора сеянца из жимолости камчатской F1. Сорт позднего срока созревания, отличающийся хорошей и стабильной по годам урожайностью. За 2011-2014 гг. средняя урожайность составила 3,35 т/га, что на 0,25 т/га (83,8 %) выше контрольного сорта Голубое веретено. Максимальная урожайность 5,1 т/га отмечена в 2012 г.

Сорт крупноплодный, средняя масса 1 ягоды за годы изучения составила 0,88 г, максимальная – 0,94 г. Ягоды хорошего кисло-сладкого вкуса. Оценка вкуса в среднем составила 4 балла. В ягодах содержится 75,1 мг% витамина С, 6,8 % сахаров, 13,05 % сухих веществ, 2,67 % кислот.

Сорт отличается зимостойкостью, поздним сроком созревания, слабой степенью осыпаемости и сухим отрывом ягод.

Основное назначение сорта – универсальное.

Авторы: Вахрушева Н. С., Русинов А. А., Салтыкова Т. И., Софронов А. П., Фирсова С. В. (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока), Кондрикова А. В. (ВИР).



Сорт ярового чеснока Мотовский

Сорт ранней группы спелости.

Основные достоинства: крупная луковица и зубки, стрелка и образовавшиеся бульбочки на ней дают возможность оздоравливать луковицы и увеличивать коэффициент размножения. Лучевое расположение зубков.

Высокая продуктивность (до 1,9 кг/м²), хорошие вкусовые качества, устойчив к неблагоприятным условиям внешней среды.

Авторы: Мотов В. М., Мотова М. В.,
Слюдова Е. А.

