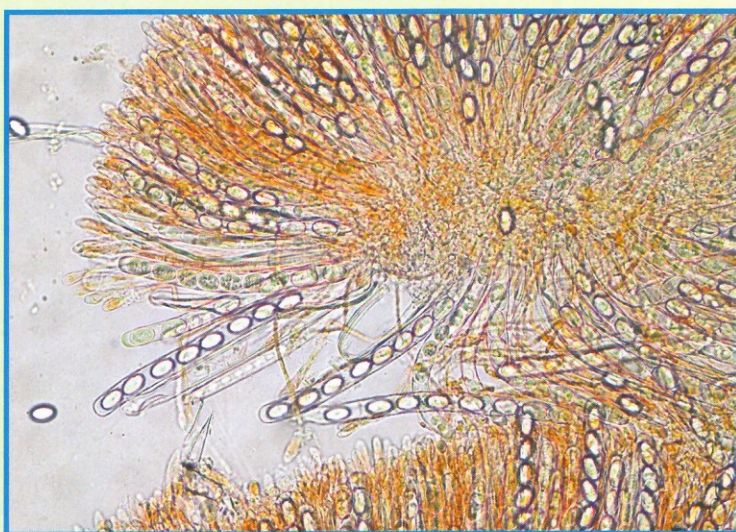


Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 22
№ 1
2021

Vol. 22
No. 1
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 – Сысеев Василий Алексеевич, д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,
Веселова Наталья Васильевна – к.с.-х., ученый секретарь научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич	д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмалопроductов, г. Москва, Россия
Багиров Вугар Алиевич	д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия
Баталова Галина Аркадьевна	д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия
Гурьянов Александр Михайлович	д.с.-х.н., профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия
Дёгтева Светлана Владимировна	д.б.н., врио директора Института биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия
Джавадов Эдуард Джавадович	д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана Санкт-Петербургской государственной академии ветеринарной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия
Домский Игорь Александрович	д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия
Еремин Сергей Петрович	д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия
Иванов Дмитрий Анатольевич	д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, 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.cnsb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку
можно в любом
почтовом отделении
по каталогу «Пресса России»
подписной индекс 58391

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

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

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

На первой странице обложки
фото: А. Дербеновой,
А. Широких, А. Экономова,
На 4-й странице обложки фото
В. Малишевского

Подписано к печати
12.02.2021 г.

Дата выхода в свет
28.02.2021 г.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 17,21

Тираж 100 экз. Заказ 3.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

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

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич

Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Цой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна
Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Баранов Александр
Васильевич

Брандорф
Анна Зиновьевна

Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Козлова Людмила
Михайловна

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибяттулович

д.б.н., профессор, заслуженный ветеринарный врач РФ, Почетный работник
высшего профессионального образования РФ, Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия, г. Нижний Новгород, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

профессор, научный руководитель Цилинского аграрного университета,
иностраный член РАН, член Академии наук Китая, г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

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

д.б.н., профессор, г. Кострома, Россия

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

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

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

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

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия,
агрохимии и мелиорации ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия
к.э.н., доцент, проректор по экономике Вятского государственного
агротехнологического университета, г. Киров, Россия

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

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

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

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

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

д.т.н., профессор кафедры механизации производства и переработки с.-х.
продукции Аграрно-технологического института Марийского государст-
венного 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 – publication and distribution of results of fundamental and applied researches conducted by native and foreign scientists for scientific support of agricultural and hunting sectors, with focus on the problems of rational use of natural resources and adaptation of agroecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

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

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant Growing. 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,
Natalya V. Veselova, Cand. of Sci. (Agricultural), scientific secretary, the Science and Organization Department, 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 acting director of Institute of biology of Komi Scientific Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia |
| Eduard D. Dzhavadov | Dr. of Sci. (Veterinary), 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, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |

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

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

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

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

You can subscribe in any post office According to the catalog "Press of Russia" subscription index 58391

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 of the front cover there are photos of A. Derbeneva, A. Shirokikh and A. Ekonomov
On the outside back cover there is the photo of V. Malishevsky

Passed for printing
12.02.2021.

Date of publication
28.02.2021.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.

Cond. pccs. 1. 17.21

Circulation 100 copies. Order 3.

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
Erroma 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
Alexander V. Baranov	Dr. of Sci. (Biology), the professor, Kostroma, Russia
Anna S. Brandorf	Dr. of Sci. (Agricultural), the director of the Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoe, 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. Egoshina	Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
Alexander A. Ivanovsky	Dr. of Sci. (Veterinary), 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. Sheshegova	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

С. В. Харин

Ценовая трансмиссия на аграрных рынках: обзор методологических подходов..... 7

И. Н. Щенникова, Л. П. Кокина

Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона
(аналитический обзор)..... 21

С. В. Брагинцев, О. Н. Бахчевников

Физические методы снижения содержания микотоксинов в кормах и их применение
в комбикормовой промышленности (обзор)..... 32

РАСТЕНИЕВОДСТВО

И. В. Шихова, Е. В. Попова, Е. Г. Арзамасова

Оценка семенной продуктивности сложногибридных популяций клевера лугового..... 47

Е. Н. Черемных, Т. Г. Леконцева, А. В. Худякова, А. В. Федоров

Клональное микроразмножение клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.)
в Удмуртской Республике..... 57

Н. И. Зайцев, В. Ю. Ревенко, Э. Г. Устарханова

Результаты мониторинга поврежденных градом посевов сои..... 67

КОРМОПРОИЗВОДСТВО

Д. А. Иванов, О. В. Карасева, М. В. Рублюк

Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга..... 76

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

Ж. Норовсүрэн, Liu Shao-Wei, Sun Cheng-Hang, Б. Алтансүх, Ч. Доржсүрэн

Молекулярно-биологическая характеристика разнообразия стрептомицетов в почвах
саксаулового леса Монголии..... 85

И. Г. Широких. Отзыв на статью Норовсүрэн Ж., Shao-Wei Liu, Cheng-Hang Sun., Алтансүх Б.,
Доржсүрэн Ч. «Молекулярно-биологическая характеристика разнообразия стрептомицетов
в почвах саксаулового леса Монголии»..... 93

ЗООТЕХНИЯ

И. Ю. Кузьмина, Л. С. Игнатович

Обогащение рационов молодняка крупного рогатого скота натуральной биологически
активной кормовой добавкой..... 94

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

*Р. И. Шангараев, М. Х. Лутфуллин, Р. Р. Тимербаева, Р. Р. Гиззатуллин,
Р. Р. Гиззатуллина*

Токсикологическая оценка азометина «С-18» и изучение антигельминтной эффективности
его различных доз при нематодирозе крупного рогатого скота..... 104

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов, Н. В. Сазонов

Лабораторные исследования ударных воздействий роликовой сортировальной машины
на клубни картофеля..... 119

В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, Д. В. Шилин, С. С. Рузин, С. С. Юрочка

Концепция, модели и схемы дифференцированного управления в роботизированном
манипуляторе доения..... 128

ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: Российская сельскохозяйственная техника: конкурентоспособность, взгляд в будущее

В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. Г. Пономарев

Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю?..... 136

CONTENTS

REVIEWS

Sergei V. Kharin

Price transmission on agricultural markets: methodological approaches..... 7

Irina N. Shchennikova, Larisa P. Kokina

Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region
(analytical review)..... 21

Sergey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov

Physical methods of mycotoxin content reduction in feeds and application of them in the
compound feed industry (review)..... 32

PLANT GROWING

Irina V. Shikhova, Evgenia V. Popova, Ekaterina G. Arzamasova

Assessment of seed productivity of complex hybrid populations of red clover..... 47

Ekaterina N. Cheremnyk, Tatyana G. Lekontseva, Anna V. Khudyakova,

Alexander V. Fedorov

Clonal micropropagation of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) in the Udmurt Republic..... 57

Nikolai I. Zaitsev, Valery Yu. Revenko, Elmira G. Ustarkhanova

Results of monitoring hail-damaged soybean crops..... 67

FODDER PRODUCTION

Dmitry A. Ivanov, Olga V. Karaseva, Maria V. Rublyuk

Study of the dynamics of herbs productivity based on long-term monitoring data..... 76

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

Jadambaa Norovsuren, Liu Shao-Wei, Sun Cheng-Hang, Batbaatar Altansukh,
Chimidnyam Dorjsuren

Molecular and biological characteristics of streptomyces diversity in the soils of the Saxaul forest
in Mongolia..... 85

Irina G. Shirokikh. Review of the article J. Norovsuren, Liu Shao-Wei, Sun Cheng-Hang,

B. Altansukh, Ch. Dorjsuren «Molecular and biological characteristics of streptomyces diversity
in the soils of the Saxaul forest in Mongolia»..... 93

ZOOTECHNY

Irina Yu. Kuzmina, Larisa S. Ignatovich

Enriching the diets of young cattle with a natural biologically active feed additive..... 94

VETERINARY MEDICINE

Rafkat I. Shangaraev, Minsagit H. Lutfullin, Razalia R. Timerbaeva, Ramis R. Gizzatullin,
Ramia R. Gizzatullina

Toxicological assessment of azomethine «C-18» and study of anthelmintic efficacy of its
various doses in cattle affected with nematodiosis..... 104

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

Alexey S. Dorokhov, Alexey V. Sibirev, Alexander G. Aksenov, Nikolay V. Sazonov

Laboratory studies of the impact of a roller sorting machine on potato tubers..... 119

Vladimir V. Kirsanov, Dmitry Yu. Pavkin, Denis V. Shilin, Semen S. Ruzin, Sergey S. Yurochka

Concept, models and schemes of differentiated control in a robotic milking manipulator..... 128

DISCUSSION PAPERS: Russian agricultural machinery: competitiveness, glimpse into the future

Vitaly N. Zernov, Sergey N. Petukhov, Andrey G. Ponomarev

Who decides what tractors farmers need?..... 136

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.07-20>
УДК 338.57



Ценовая трансмиссия на аграрных рынках: обзор методологических подходов

© 2021. С. В. Харин✉

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

Феномен ценовой трансмиссии на различных аграрных рынках привлек внимание многих ученых в 21 веке. В недавних публикациях можно найти эмпирические исследования ценовых взаимоотношений на различных уровнях. В нашем научном обзоре мы рассмотрели существующую эмпирическую литературу по ценовой трансмиссии на аграрных рынках стран Европы, Азии, Северной и Латинской Америки, представили анализ наиболее важных методологических подходов, которые очень неоднородны с точки зрения эконометрических моделей, типа асимметрии и эмпирических результатов. В статье можно найти подробный анализ прикладных исследований в области линейной и нелинейной концепций коинтеграции, также оценены главные достоинства и недостатки наиболее популярных эконометрических моделей для ценовой трансмиссии, особый фокус сделан на авторегрессионные модели с распределенными лагами, модели коррекции ошибок, нелинейные модели с переключающимися режимами и векторные авторегрессионные модели. За последние годы в прикладных исследованиях процессов рыночной интеграции и ценовой трансмиссии получили активное распространение нелинейные и непараметрические методологические подходы и приемы.

Ключевые слова: асимметрия, эконометрическая модель, временные ряды, коинтеграция, стационарность, регрессия

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-110-50002.

Автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харин С. В. Ценовая трансмиссия на аграрных рынках: обзор методологических подходов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):07-20. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.07-20>

Поступила: 23.11.2020 Принята к публикации: 14.01.2021 Опубликовано онлайн: 22.02.2021

Price transmission on agricultural markets: methodological approaches

© 2021. Sergei V. Kharin✉

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov,
Voronezh, Russian Federation

The phenomenon of price transmission on various agricultural markets has attracted the attention of scientists in the 21-st century. Empirical studies of price relationships at various market levels can be found in recent publications. In this scientific review the survey was carried out as to the existing empirical literature on price transmission in agricultural markets of European, Asian, North and South American countries. The paper also presents the analysis of the most important methodological approaches, which are very heterogeneous in the aspects of econometric models, asymmetry types and empirical results. The article provides a detailed analysis of applied research in the field of the linear and nonlinear concepts of cointegration, also the most popular econometric price transmission models have been assessed in the light of the main advantages and disadvantages with a special focus on autoregressive models with distributed lags, error correction models, nonlinear models with switching regimes and vector autoregressive models. In recent years nonlinear and nonparametric methodological approaches and techniques have become widely used in applied research of market integration and price transmission.

Keywords: asymmetry, econometric model, time series, cointegration, stationarity, regression

Acknowledgments: the reported study was funded by RFBR, project number 20-110-50002.

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

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

For citation: Kharin S. V. Price transmission on agricultural markets: methodological approaches review. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):07-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.07-20>

Received: 23.11.2020

Accepted for publication: 14.01.2021

Published online: 22.02.2021

Феномен ценовой трансмиссии на различных аграрных рынках привлек внимание многих ученых в конце 20 – начале 21 века. Проблема ценовых взаимоотношений субъектов экономики весьма актуальна, поскольку эффективность производства в агросекторе, в немалой степени, зависит от совершенства ценового механизма в системе рыночных отношений. Волатильность цен имеет серьезные последствия для экономического благополучия рыночных агентов в системе продовольственной цепи поставок.

Анализ ценовой трансмиссии предполагает измерение эффекта влияния изменения цен одного из рынков на ценовые колебания другого рынка. Можно дать определение термина «ценовая трансмиссия» как степень влияния изменения цены какого-либо товара на цену другого товара (рынка).

Существует три типа ценовой трансмиссии: горизонтальная, вертикальная и перекрестная. Первый тип трансмиссии возникает из-за товарных потоков между рынками и пространственного арбитража (например, мировые и локальные цены зерна, цены производителей кукурузы в различных субъектах России и т. д.). Второй тип трансмиссии появляется по причине конвертации сырьевых товаров в готовую продукцию при определенных затратах (анализируют цены на продукцию одинаковой продовольственной цепи, например, зерно, мука и хлеб). Наконец, альтернативное потребление или производство приводит к перекрестной ценовой трансмиссии (например, исследование цен кукурузы и сорго, сливочного масла и маргарина).

Эмпирическое исследование ценовой трансмиссии дает ответы на следующие важные экономические вопросы:

- существует ли долгосрочная связь между ценами на различных рынках?
- цены рынка А влияют на цены рынка Б в одностороннем порядке, или же, они влияют друг на друга?
- если цена на одном рынке изменится на 1 %, то насколько это вызовет изменение цены другого рынка после одного временного периода (месяц, квартал) или в долгосрочном периоде?
- насколько тесно интегрированы друг с другом различные рынки с помощью цен?
- изменение цен асимметрично или нет?
- сколько временных отрезков (месяцев, кварталов) займет ценовая трансмиссия, когда одна из цен изменилась наполовину (четверть и т. д.)?

Таким образом, P. Vavra и B. Goodwin [1] выделяют четыре фундаментальных вопроса, на которые можно ответить с помощью эмпирического анализа ценовой трансмиссии: величина, скорость, природа и направление ценовых изменений.

Периодическая научная литература рассматривает множество факторов, влияющих на количественные параметры ценовой трансмиссии. Среди них транспортные и транзакционные издержки, рыночная власть, возрастающая отдача от масштаба производства, продуктовая гомогенность и дифференциация, курсовые разницы, асимметрия информации и локальная политика органов власти [2, 3].

Практическая значимость результатов анализа трансмиссии цен заключается в нескольких аспектах. Во-первых, они могут помочь в интерпретации недавних ценовых изменений на определенных рынках. Во-вторых, выявленные ценовые причинно-следственные связи помогают в понимании и описании трендов на локальных рынках. В-третьих, анализ может помочь в прогнозировании цен в последующие месяцы. Наконец, степень ценовой трансмиссии для многих рынков позволяет определить паттерны поведения цен и трендов. Однако несмотря на то, что анализ ценовой трансмиссии – это полезный инструмент понимания и прогнозирования ценовых тенденций, он не говорит нам, почему трансмиссия слабая или сильная, быстрая или медленная. Кроме этого, необходимы знания о транспортной инфраструктуре, сезонности, торговой и аграрной политике, кредитных возможностях и др.

Существует несколько подходов для измерения ценовой трансмиссии: анализ ценовых процентных соотношений за два временных периода, корреляционный, регрессионный и коинтеграционный анализы. В качестве источника данных для исследований используют ценовые временные ряды за множество лет с разбивкой по кварталам и месяцам. Первый подход является очень «грубым» методом без учета временного тренда. Корреляционный анализ предполагает вычисление коэффициентов корреляции Пирсона и детерминации, он прост в вычислении и интерпретации. Подход предусматривает рассмотрение двух ценовых переменных без учета других факторов и цен, а также не идентифицирует причинно-следственную связь. Кроме этого, рассматриваются ценовые взаимоотношения в одном периоде без учета временных лагов, а нестационарная природа данных может привести к ошибочным результатам. Множественный

регрессионный анализ позволяет получить информацию о динамической ценовой эластичности между более чем парой цен и принять во внимание лагированные переменные, сезонные и многие другие факторы. Однако трудно определить причинно-следственную связь, а нестационарная природа цен может привести к ложным выводам. Коинтеграционный подход является современным и позволяет обойти недостатки вышеперечисленных методов.

Несмотря на то, что в недавних публикациях можно найти множество исследований ценовых взаимоотношений на различных уровнях, в российском академическом пространстве не представлен детальный обзор существующих эмпирических подходов в области трансмиссии и асимметрии цен.

Цель работы – подробный и обновленный обзор существующих методологических подходов в области ценовой трансмиссии на аграрных рынках. В нашем обзоре представлен анализ эмпирических исследований в области линейной и нелинейной концепций коинтеграции, оценены относительные достоинства наиболее популярных эконометрических моделей для ценовой трансмиссии.

Материал и методы. Автором были изучены материалы научных эмпирических исследований в области анализа ценовой трансмиссии на аграрных рынках многих стран. Поиск научных источников проводили в библиографических базах, научных электронных библиотеках и поисковых системах: Publons (www.publons.com), Scopus (www.scopus.com), eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru), Google Scholar (www.scholar.google.com), RePEc: Research papers in Economics (www.repec.org), AgEcon: Research in Agricultural & Applied Economics (<https://ageconsearch.umn.edu/>). В качестве литературных источников были приняты во внимание научные статьи на английском и русском языках. Глубина поиска – с 1960 года. Поисковые запросы выполняли по следующим ключевым словам: ценовая трансмиссия, ценовые ряды, коинтеграция цен, асимметрия цен, модели ценовых рядов, аграрные рынки, сезонность, тесты на стационарность ценовых рядов.

Основная часть. Обсуждение методологических подходов. В конце 60-х и в течение 70-х годов прошлого века большинство исследований по ценовой трансмиссии концентрировалось на продовольственных товарах [4].

Ранние подходы к анализу ценовой трансмиссии базировались на различных вариациях эконометрических моделей Вольфрама, Хока и Ворда [5, 6, 7]. Эти модели представляли собой регрессии «лагированных» ценовых переменных. При этом, в целях выявления асимметрии цен, подход предполагал, что ценовая переменная-регрессор разбивалась на позитивные (когда цена растет по сравнению с предыдущим временным периодом) и негативные (когда цена падает по сравнению с предыдущим временным периодом) компоненты. В регрессиях такое деление отражалось с помощью фиктивной переменной (принимавшей значения 0 и 1), включаемой в эконометрическую модель для учёта влияния качественных признаков и событий на объясняемую вторую ценовую переменную.

Надо отметить, что выявление асимметрий при анализе ценовой трансмиссии заняло ключевое место в исследованиях. Ученые-экономисты уделяют значительное внимание асимметрии не только потому, что она указывает на проблемы в распределении добавленной стоимости между рыночными агентами, но и потому, что само ее присутствие указывает на признаки провалов рынка [8]. Типы асимметрии ценовой трансмиссии представлены ниже (рис. 1, 2, 3).

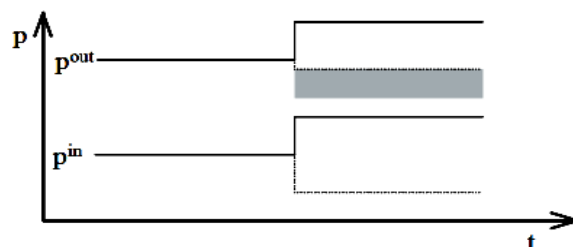


Рис. 1. Асимметрия в величине трансмиссии между двумя ценами [8] /

Fig. 1. Asymmetry in the value of transmission between two prices [8]

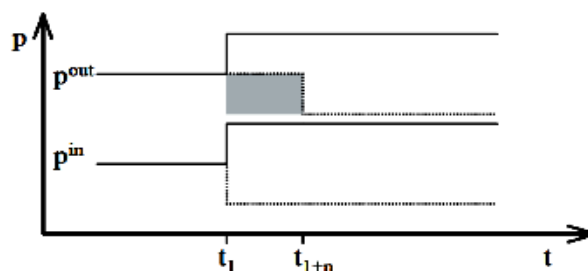


Рис. 2. Асимметрия во времени трансмиссии между двумя ценами [8] /

Fig. 2. Asymmetry in the time of transmission between two prices [8]

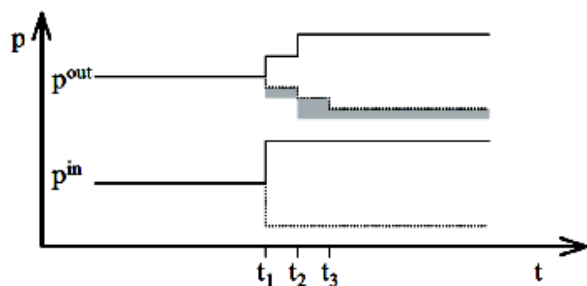


Рис. 3. Асимметрия в величине и времени
трансмиссии между двумя ценами [8] /
Fig. 3. Asymmetry in the value and time of
transmission between two prices [8]

Ранние исследования использовали простой корреляционный анализ и регрессии, оцененные методом наименьших квадратов. Эконометрические модели трансмиссии цен предполагали стационарность ценовых переменных, однако на практике ценовые ряды нестационарны, что вело к получению ложно значимых результатов. Такое положение спрово-

воцировало переход к более тщательному анализу статистических свойств ценовых данных временного ряда, включая тестирование на стационарность и разработку коинтеграционной концепции как инструмента предотвращения ложной регрессии.

Стационарность представляет собой характеристику (свойство) процесса, в котором среднее значение и стандартное отклонение не меняются со временем [9]. В теории вероятностей случайный процесс называется стационарным, если все его вероятностные характеристики не меняются с течением времени (t). Иными словами, цены на протяжении какого-то временного периода не демонстрируют восходящий или нисходящий тренд и не подвергаются значительным флуктуациям. Очевидно, что в реальной экономике такого не происходит. Примеры нестационарных и стационарных ценовых рядов можно увидеть ниже (рис. 4, 5).

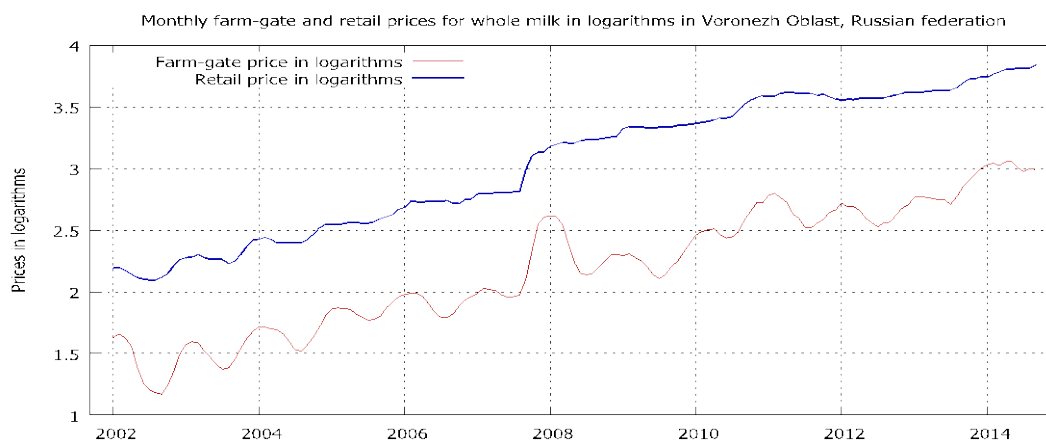


Рис. 4. Нестационарные ценовые ряды [10] /
Fig. 4. Non-stationary price series [10]

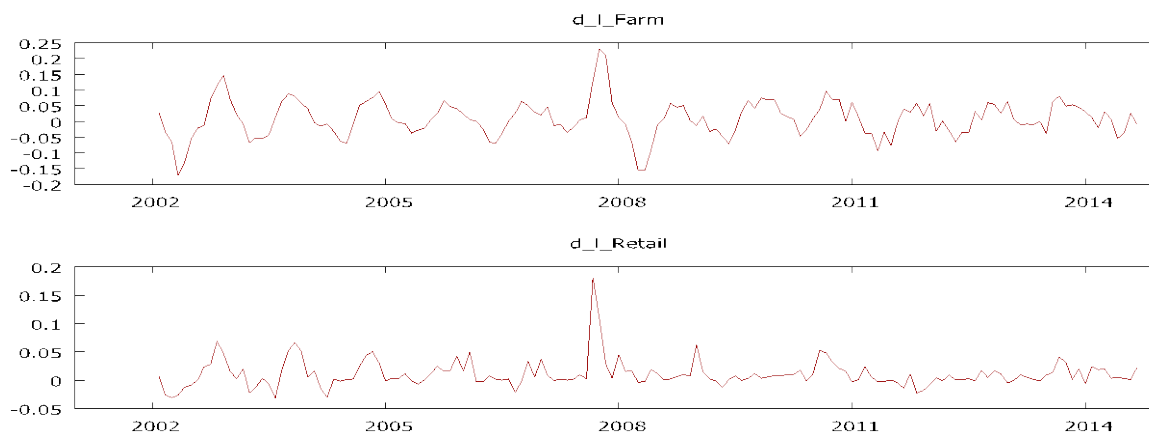


Рис. 5. Стационарные ценовые ряды [10] /
Fig. 5. Stationary price series [10]

С конца 70-х годов 20 века в прикладной статистике и эконометрике широко используются следующие известные методологические подходы для проверки ценовых рядов на стационарность: DF-тест, PP-тест, KPSS-тест [11, 12, 13].

DF-тест Дики-Фуллера представляет собой тестирование наличия «единичного» корня временного ряда динамики. Математическое присутствие «единичного» корня говорит о нестационарности ценовых данных. В основе этого теста лежит предпосылка, что любой ряд динамики можно аппроксимировать с заданной точностью процессом типа авторегрессии необходимого порядка. Если в тестовые регрессионные уравнения добавить лаги первых разностей временного ряда, то такой тест называют расширенным тестом Дики-Фуллера.

PP-тест Филиппса-Перрона основан на расширенном тесте Дики-Фуллера. В то время как последний использует параметрическую авторегрессию, большое преимущество PP-теста заключается в том, что он не является параметрическим [14]. Главный недостаток теста Филиппса-Перрона в том, что он хорошо работает только с большими выборками, то есть с длинными динамическими рядами. Также подход разделяет некоторые недостатки теста Дики-Фуллера: чувствительность к структурным сдвигам и неточность при малых ценовых выборках [10].

KPSS-тест предназначен для дополнения тестов на единичный корень, наподобие теста Дики-Фуллера. Тест назван по первым буквам четырех ученых – Квятковский – Филиппс – Шмидт – Шин, в эконометрике тест используется для тестирования нулевой гипотезы о том, что наблюдаемый ряд динамики является стационарным вокруг детерминированного тренда (т. е. тренд-стационарным). В отличие от большинства тестов на единичный корень, наличие единичного корня – это не нулевая гипотеза, а альтернатива. Кроме того, в тесте KPSS отсутствие единичного корня является доказательством не стационарности, а, по замыслу, стационарности тренда. Это важное различие, поскольку ценовые ряды могут быть нестационарными, не иметь единичного корня, но быть стационарными по тренду. KPSS-тест является непараметрическим.

В качестве альтернативы для изучения свойств ценовых данных и любых рядов динамики используется также модификация расши-

ренного теста Дики-Фуллера, разработанная Элиотом, Ротенбергом и Стоком в 1996 году [15]. В ходе тестирования временные ряды трансформируются в регрессионные уравнения, оцененные с помощью обобщенного метода наименьших квадратов. Тест отличается большей мощностью по сравнению с предыдущими версиями.

Наличие структурных сдвигов на аграрных рынках может привести к ошибочным выводам о природе ценовых данных. В условиях структурных сдвигов часто используют методологию Зивота-Эндрюса, которая предполагает проверку временного ряда на стационарность с одним неизвестным структурным сдвигом [16]. Следует отметить, что исследователи часто не знают точную дату сдвига, что, несомненно, является преимуществом теста перед другими аналогами.

Кроме наличия структурных изменений, аграрные рынки подвержены значительному влиянию сезонных факторов. Без учета таких факторов также невозможно прийти к надежным выводам о статистических свойствах временных рядов. Тест HEGY, учитывающий влияние сезонности, предложили S. Hylleberg, R. Engle, C. Granger, B. Yoo в 1990 году [17]. В настоящее время этот способ проверки сезонных единичных корней является общепринятым. Большинство научных работ в этой области посвящено его усовершенствованию и расширению области применения. Кроме того, идея, лежащая в основе HEGY-теста, послужила основой для введения понятия сезонной коинтеграции и разработки методов ее тестирования. Однако для получения устойчивых оценок необходимо иметь ценовые данные за достаточно длинный промежуток времени (от 20-30 лет) в разбивке по месяцам или кварталам, иначе мы, с большей долей вероятности, будем получать смещенные оценки при анализе временных рядов. Тест учитывает не число ценовых наблюдений, а количество лет, так как в тестовые регрессии входят 12 (в случае месячных цен) «лагированных» ценовых переменных.

С 1987 года применяются методы, имеющие дело с нестационарными данными. Процедура, основанная на построении модели нестационарных ценовых рядов с помощью классического метода наименьших квадратов, называется подходом Энгла-Грэнджера и связана с концепцией коинтеграции временных

рядов. Новое «коинтеграционное» направление в эконометрике было развито двумя экономистами: американцем Робертом Фраем Энглom III (Robert Fry Engle III) и англичанином, сэром Клайвом Уильямом Джоном Грэнджером (Clive William John Granger). Оба лауреаты Нобелевской премии по экономике 2003 года.

Роберт Энгл получил Нобеля «за разработку метода анализа временных рядов в экономике на основе математической модели с авторегрессионной условной гетероскедастичностью (ARCH)». Клайв Грэнджер удостоился премии по экономике памяти Альфреда Нобеля с прямой формулировкой: «За разработку метода коинтеграции для анализа временных рядов в экономике». Именно Грэнджер выступил пионером в области коинтеграции временных рядов, предложив концепцию еще в 1981 году. Автор знаменитого принципа «причинности по Грэнджеру» [18].

С экономической точки зрения, коинтеграция – важная характеристика экономических переменных, которая означает, что, несмотря на случайный (слабо предсказуемый) характер изменения отдельных экономических переменных, существует долгосрочная зависимость между ними, которая приводит к некоторому совместному, взаимосвязанному изменению. Энгл и Грэнджер показали, что если два ценовых ряда коинтегрированы между собой, то их взаимосвязь можно анализировать с помощью модели коррекции ошибок (ECM, Error Correction Model) – когда краткосрочные флуктуации корректируются в зависимости от степени отклонения от долгосрочной зависимости [19].

Впоследствии Грэнджер и Ли адаптировали модель ECM с целью выявления несимметричной ценовой трансмиссии [20]. Они включили в модель компоненты асимметричности: положительные и отрицательные переменные коррекции ошибок из «долгосрочной» регрессии (ECT, Error Correction Terms). Профессор Гёттингенского Университета Крамон-Тобадель (Von Cramon-Taubadel) также был одним из первых, кто начал внедрять концепцию коинтеграции в модели асимметричной ценовой трансмиссии на аграрных рынках [21].

Различные методологические приемы предложены в эмпирической литературе для тестирования наличия коинтеграционных

связей. Наиболее популярны из них – двухшаговая процедура Энгла-Грэнджера и подход Йохансена [22, 23].

Процедура Йохансена основана на оценке максимального правдоподобия. Многие ученые сходятся во мнении о том, что тест Йохансена является более совершенным по сравнению с подходом Энгла-Грэнджера. Во-первых, в нем отсутствует проблема выбора зависимой ценовой переменной. Во-вторых, тест может обнаруживать несколько коинтегрирующих векторов и более подходит для многомерных ценовых рядов в отличие от теста Энгла-Грэнджера, который применим для анализа только пары ценовых переменных. В-третьих, тест Йохансена имеет дело с каждой тестовой переменной как эндогенной.

Однако в литературе можно найти факты несовершенства подхода Йохансена. Исследователи Gonzalo и Lee отметили, что для большинства случаев тест Энгла-Грэнджера является более надежным, чем тест отношений правдоподобия Йохансена. Авторы рекомендуют использовать оба теста во избежание разных «подводных камней» [24].

В условиях структурных сдвигов на аграрных рынках с целью обнаружения коинтегрирующих векторов между ценами, часто используют подход Грегори-Хансена [25]. По сути, подход представляет собой усовершенствованную методологию Энгла-Грэнджера. Дата структурного сдвига в эконометрических тестовых моделях определяется эндогенно.

Итак, эволюция методологических подходов к исследованию ценовой трансмиссии на аграрных рынках шла от корреляционного анализа и простых регрессионных моделей к динамическим регрессиям, которые в качестве регрессоров включают лаговые переменные. Такие регрессионные уравнения послужили основой для авторегрессионных моделей с распределенными лагами (ARDL), векторных авторегрессий (VAR, Vector AutoRegression) с функциями импульсного отклика (IRF, Impulse Response Function) и моделей коррекции ошибок (VECM, Vector Error Correction Model). Впоследствии вышеназванные модели были усовершенствованы до нелинейных и асимметричных, а VECM-моделирование развивалось в парадигме предельной (threshold) концепции коинтеграции ценовых рядов.

Несмотря на многообразие эконометрических моделей, векторная модель коррекции ошибок (VECM) стала основой и стандартом для исследования асимметричной ценовой трансмиссии, так как позволяет анализировать различные типы асимметрии в коинтегрированных ценовых рядах [26].

Следует отметить, что рациональный эмпирический анализ зависит не только от спецификации моделей трансмиссии цен, но и от характеристик набора ценовых данных и интерпретации результатов. В. Goodwin, Р. Vavra утверждают, что любые выводы в аспекте ценовой трансмиссии, сделанные в «вакууме» относительно понимания основных характеристик оцениваемого рынка, сомнительны [27]. Скорее, важно разрабатывать и интерпретировать каждое исследование в свете его институциональных и прочих факторов, которые оказывают влияние на рыночные процессы.

За последнее десятилетие 21 века накопился огромный пласт эмпирической литературы по вертикальной и горизонтальной ценовой трансмиссии на аграрных рынках многих стран. Однако исследований ценовой трансмиссии на аграрных рынках России практически нет, за редким исключением.

Большое количество источников посвящено анализу пространственной трансмиссии цен с использованием процедур коинтеграционного подхода и линейного VECM-моделирования. Так, Р. Savadatti анализировала пространственную рыночную интеграцию между четырьмя индийскими региональными рынками бобовой продукции, используя месячные оптовые цены за период 2011-2015 гг. С помощью модели VECM она выявила медленную ценовую трансмиссию для всех рассматриваемых рынков. Среди вероятных причин индийский автор указывает недостаточность инфраструктурных объектов, транспортные издержки, неразвитость институциональных механизмов и отсутствие взвешенной правительственной политики [28]. Другой индийский исследователь Р. К. Jena с помощью коинтеграционной процедуры и VECM, анализируя локальный ценовой индекс на сельскохозяйственную продукцию и мировой, не нашел эмпирического подтверждения взаимосвязи между ними [29]. Исследование С. Arnade, В. Cooke, F. Gale рассматривает связь цен на различную аграрную продукцию Китая с мировыми ценами. Авторы применяют

вышеописанные подходы. Спецификация их линейной модели позволяет проверить, может ли Китай влиять на мировые цены сырьевых товаров. Ученые нашли значительные различия в ценовой трансмиссии, причем китайский рынок сои, соевой муки и курятины является наиболее интегрированным с мировым, в отличие от рынка риса. Они также обнаружили, что краткосрочная трансмиссия цен намного ниже, чем долгосрочная, что позволяет предположить, что торговая политика стабилизации может задерживать, но не устранить трансмиссию ценовых шоков на аграрных сырьевых рынках [30]. D. Zhou, D. Koemle провели исследование ценовой трансмиссии за период 2000-2014 гг. между ценами на свинину в Китае и ценами на корма, в частности внутренними ценами на кукурузу, а также мировыми ценами на сою. Авторы выявили долгосрочное устойчивое равновесное соотношение между тремя рынками. Однако дальнейшие исследования показали, что существенной причинно-следственной связи Грэнджера между рынком свинины и рынком кормов не существует, а долгосрочное равновесие частично является следствием причинно-следственной связи по Грэнджеру между мировым рынком сои и локальным рынком кукурузы. Внутренний китайский рынок свинины подвержен существенному влиянию различных норм регулирования. Результаты также показали, что эффективность ценовой трансмиссии крайне низка, и требуется около 11 месяцев для коррекции половины любого долгосрочного дисбаланса на китайском рынке свинины. Поэтому, заключают авторы, для стабилизации цен на свинину в Китае недостаточно только рыночного вмешательства для регулирования кормовых рынков, необходимы такие комплексные меры, как модернизация производства свинины, сельскохозяйственное страхование, эпидемический надзор и многое другое [31].

В статье О. Ozturk рассматривается вопрос о том, является ли зерновой рынок Турции коинтегрированным с мировым. Используя модель коррекции ошибок, автор анализирует реакцию цен производителей пшеницы, ячменя, кукурузы, сои и риса на изменения мировых цен. Результаты показали, что рынок риса Турции не интегрирован с мировым рынком, в то время как другие зерновые рынки слабо интегрированы. Полученные данные выявили, что ценовая трансмиссия крайне низкая как в краткосрочном, так и

в долгосрочном периодах. Адаптация к новому равновесному состоянию после ценового шока происходит медленно. Автор предполагает, что причиной слабой коинтеграции является торговая политика турецких властей. Для усиления интеграции внутреннего зернового рынка с международным, исследователь рекомендует уменьшить уровень государственного вмешательства [32].

Анализируя горизонтальную ценовую трансмиссию, ученые иногда испытывают недостаток информации о транзакционных издержках. Классическая линейная модель VECM не учитывает наличие таких затрат, что является существенным ограничением для ее применения. С целью включения транзакционных эффектов, очень часто применяют нелинейную модель TVECM (Threshold Vector Error Correction Model). Транзакционные издержки между рынками оцениваются с помощью специального предельного параметра (threshold). По сравнению со стандартной моделью VECM, TVECM дополнительно измеряет уровень ценовой эффективности между двумя отдаленными друг от друга рынками [33].

В 1997 году N. Balke, T. Fomby представили концепцию предельной коинтеграции [34]. Дальнейшее совершенствование и развитие методологии нелинейного VECM-моделирования нашло отражение в трудах современных ученых-экономистов [35, 36, 37].

Автор анализировал горизонтальную трансмиссию цен на молоко в Европейской части Российской Федерации (Центральный (ЦФО), Южный (ЮФО), Приволжский (ПФО) и Северо-Западный (СЗФО) федеральные округа) с применением нелинейной модели TVECM. Обнаружение коинтеграции осуществлялось с применением подходов Йохансена и Хансена-Сео. Для учета эффекта транзакционных издержек специфицировалась модель TVECM с двумя режимами. Результаты показали, что все рынки хорошо интегрированы в долгосрочном временном периоде, однако, в краткосрочном периоде рынки интегрированы лишь частично. Основываясь на модельных оценках, автор находит довольно низкую степень интеграции молочных региональных рынков и медленную скорость коррекции в краткосрочном периоде: около 7-20 процентов коррекции в направлении равновесия наблюдалось в линейной VECM-модели.

Молочный рынок ЦФО показал наибольшую коррекцию. Рынок ЮФО оказался наименее интегрированным с рынками ПФО и СЗФО в краткосрочном периоде. Авторские оценки выявили предельные (threshold) эффекты лишь для трех пар рынков молока: ЦФО-СЗФО, ЦФО-ПФО и ПФО-ЮФО. Были обнаружены статистически незначимые коррекции цен в двух режимах для рыночной пары ПФО-ЮФО ввиду изоляции рынков в краткосрочном периоде. Такие результаты получены по причине плохого транспортного сообщения между двумя федеральными округами, а также неразвитости инфраструктуры (закключение сделано на основе Постановления Правительства №1538-р от 05.09.2011 «Стратегия социально-экономического развития Южного федерального округа на период до 2020 года»).

Автор отмечает, что исследование может быть расширено с добавлением в анализ других восточных федеральных округов России [38].

K. Braha, M. Rajčániová, A. Qineti, J. Pokrivčák, E. Lazorčáková сосредоточились на исследовании пространственной трансмиссии цен и рыночной интеграции аграрных рынков Косово и ЕС. Они сделали спецификацию асимметричной модели коррекции ошибок (AVECM), собрав данные о месячных ценах на ряд злаковых и говядину за период 2004-2016 годы. Главный вывод авторов заключается в том, что рынки Косово очень чувствительны к ценовым изменениям на рынках ЕС. Эмпирические результаты свидетельствуют об асимметричной связи цен рынка Косово и мировыми, а также показывают более прочные долгосрочные отношения с ценами рынков ЕС. Сельскохозяйственные рынки Косово реагируют на положительные и отрицательные отклонения цен, в то время как мировые цены и цены на рынках ЕС не реагируют на ценовые шоки со стороны Косово. Косово, как страна – «price taker», сильно зависящая от импорта сельскохозяйственной продукции и продовольствия, имеет ограниченные инструменты для смягчения последствий глобальной ценовой трансмиссии. При нынешнем либеральном торговом режиме со странами региона и ЕС любые торговые ограничительные меры будут иметь пагубные последствия для благосостояния потребителей Косово. По замыслу авторов результаты анализа помогут органам власти в области сельского хозяйства и торговли, занимающимся

вопросами цен на продовольствие и продовольственной безопасностью [39].

Кроме TVECM, некоторые авторы при анализе ценовых взаимосвязей активно используют переключающуюся VECM-модель Маркова (Markov-Switching vector error correction model, MSVECM). Модели MSVECM и TVECM принадлежат к так называемому классу «режим-зависимых» моделей.

Так, в рамках горизонтальной ценовой трансмиссии L. Götz, T. Glauben, B. Brümmer анализировали влияние введения контроля экспорта пшеницы на внутренних рынках России и Украины во время глобального продовольственного кризиса 2007-2008 гг. С помощью MSVECM они сравнивали зерновые рынки России и Украины с рынками Германии и США, которые не вводили экспортный контроль на пшеницу. Авторы обнаружили, что экспортные ограничения временно снизили степень интеграции российского и украинского внутренних рынков пшеницы с мировыми, что подтолкнуло цены производителей снизиться ниже их долгосрочного равновесного уровня. Кроме того, внутренние рынки РФ и Украины были «оторваны» от своего равновесия, и нестабильность рынка усилилась. Эти эффекты были еще более выраженными и продолжительными в Украине (введена экспортная квота), чем в России (введен экспортный налог). Негативные рыночные эффекты оттолкнули частных инвесторов, тем самым, не позволив России и Украине максимизировать свой зерновой потенциал и внести свой вклад в глобальную продовольственную безопасность [40].

Несколько ученых использовали непараметрические подходы для оценки ценовой трансмиссии, как, например, F. Rosales, S. von Cramon. Они предложили непараметрическую модель коррекции ошибок в сочетании с концепцией коинтеграции, изменяющейся со временем (time-varying cointegration). С помощью нее они провели анализ пространственной ценовой трансмиссии на рынках пшеницы Украины и Франции [41].

Кроме вышеописанных моделей (VECM, TVECM, MSVECM и непараметрическая VECM) в эмпирической литературе по анализу вертикальной ценовой трансмиссии на аграрных рынках применяют и другие методологические подходы к моделированию. В частности, в одной из работ автора прове-

ден анализ вертикальной трансмиссии цен между закупочными и розничными ценами цельного молока в Воронежской области России с помощью авторегрессионной модели с распределенными лагами (ARDL-модель). Анализ подверглись месячные цены за период с января 2002 г. по сентябрь 2014 г., и в ходе исследования они были подвергнуты логарифмированию для лучшей экономической интерпретации. Результаты показали, что между сельскохозяйственными и розничными ценами не существует долгосрочной коинтеграционной связи. Автор нашел подтверждение того, что изменение розничной цены оказывает существенное влияние на цену производителей молока (тест Грэнджера установил однонаправленную причинно-следственную связь между ними, а не наоборот). Результаты расчета эластичности трансмиссии выявили краткосрочный эффект, который приводит к росту закупочных цен на 0,31 % с увеличением розничных на 1 %. Кроме этого, динамический долгосрочный эффект повышения розничных цен на 1 % приводит к росту закупочных на 1,35 %. Автор подчеркивает, что результаты подтверждают мнение о том, что розничные рыночные игроки обладают значительной рыночной властью [10].

ARDL-модель позволяет исследовать влияние ценовых шоков независимых переменных на зависимую переменную с помощью динамических (кумулятивных) коэффициентов (аналогия с функциями импульсного отклика в VAR-моделях). В модели ARDL число лагов выбирается в соответствии с информационными критериями Акаике и Шварца [42, 43]. Когда все информационные критерии дают одинаковые оценки, то выбор очевиден. Однако, в случае получения противоречивых результатов, при наличии месячных цен лучше ориентироваться на критерий Акаике, квартальных – на критерий Шварца [44].

В 2014 году группа ученых во главе с Y. Shin разработала нелинейную ARDL-модель (NARDL), которая позволяет оценивать эффекты асимметрии [45]. NARDL-модель имеет несколько преимуществ по сравнению с классической. Во-первых, она эффективно работает даже при небольших ценовых выборках. Во-вторых, тест на стационарность является необязательным при нелинейном ARDL-моделировании. Модель устойчива как при стационарных ценовых данных,

так и в условиях интегрированности первого порядка, I (1).

А. Reztis применил NARDL-модель для анализа вертикальной трансмиссии между розничными и сельскохозяйственными ценами на рынке молочной продукции Финляндии. Полученные результаты подтвердили наличие долгосрочной асимметрии на рынках обезжиренного молока и голубых сыров, краткосрочной асимметрии на рынке сыра «Эдам», долгосрочной и краткосрочной асимметрии на рынках творога и йогурта. В качестве причин позитивной долгосрочной асимметрии автор приводит огромную рыночную власть финских ритейлеров, а также затраты «меню», стратегии складского управления и молочные квоты [46].

В качестве другого методологического подхода для изучения ценовой трансмиссии хорошо подходят векторные авторегрессии (Vector Autoregression, VAR). Первоначально VAR-моделирование было разработано Нобелевским лауреатом Кристофером Альбертом Симсом [47]. Этот подход, по сути, основывается на использовании информации недавнего прошлого для экстраполяции ее на будущие временные отрезки. Кристофер Симс разработал метод для анализа влияния временных изменений в экономической политике на экономику. В частности, Симс применял этот метод для оценки влияния изменений центральным банком процентной ставки на экономику. В 2011 году Кристофер Симс совместно с Томасом Сарджентом был награжден Нобелевской премией по экономике за «эмпирические исследования причин и ожиданий в макроэкономике».

VAR-модель представляет собой систему эконометрических уравнений, описывающих совместную динамику нескольких ценовых рядов. Текущие значения каждой эндогенной переменной, согласно такой модели, зависят от ее прошлых значений и от прошлых значений других переменных модели. Недостатком VAR-модели является сложная интерпретация индивидуальных коэффициентов, пользователи этой методики часто оценивают функцию импульсного отклика (отклик одной ценовой переменной на внезапное и временное изменение другой ценовой переменной). Модель VAR генерирует функцию импульсного отклика, которая показывает, как быстро ценовой шок от одной цены переходит к дру-

гой, то есть описывается реакция одной ценовой переменной на импульс другой [9].

Используя векторную авторегрессию и функцию импульсного отклика, автор анализировал ценовую трансмиссию на молочном рынке России за период 2002-2014 гг. и доказал, что существует положительная, существенная связь между закупочными и розничными ценами на цельное молоко. Из анализа функции импульсного отклика автор выяснил, что импульс изменения розничной цены вызывает повышение сельскохозяйственной цены с последующим постепенным снижением до тех пор, пока эффект не исчезнет через 16 месяцев. Повышение цен производителей молока достигает максимума на второй месяц после первоначального импульса изменения розничных цен. Исследование может быть полезно для органов власти в аспекте распределения и балансирования субсидий в молочной продовольственной цепи [9].

В 2001 году W. Enders и P. Siklos предложили модели предельной (пороговой) авторегрессии (Threshold Autoregression, TAR) и импульсной предельной (пороговой) авторегрессии (Momentum Threshold Autoregression, MTAR) [48]. Подход вышеуказанных исследователей отличается от классической VAR-модели возможностью анализировать нелинейные асимметричные связи между ценами. Тестирование Эндерса-Сиклоса обладает преимуществом и состоятельными оценками по сравнению с тестом Энгла-Грэнджера, когда преобладают асимметричные отклонения от равновесного состояния.

В последние годы TAR- и MTAR-модели широко применяются при эмпирических исследованиях ценовой трансмиссии на аграрных рынках. Так, M. Rajcaniova и J. Pokrivcak анализировали вертикальную трансмиссию между ценами производителей и розничными с использованием пороговых авторегрессий на картофельном рынке Словакии. Авторы эмпирически нашли доказательства наличия структурных сдвигов на рынке, а также асимметричного поведения цен в продовольственной цепи. Кроме этого, словацкие ученые нашли довольно интересные ценовые взаимосвязи, а именно потребительские цены быстрее реагируют на снижение цен производителей, чем на повышение цен производителей. Это означает, что розничные торговцы быстрее реагируют на процессы, которые повыша-

ют маржу, чем на экономические шоки, которые «сжимают» маржу. Этому есть различные объяснения. Во-первых, значительное количество картофеля производится либо самими домохозяйствами, либо приобретается напрямую от производителей, что ограничивает возможности посредников. Кроме того, картофель имеет короткий срок хранения, и отсутствие реакции ритейлеров на снижение цен производителей приводит к возникновению дополнительных издержек для них [49].

Иногда исследователи применяют векторные модели коррекции ошибок с плавным переходом (Smooth Transition Vector Error Correction Model, STVECM). Первоначально Т. Тerasvirta в 1994 году представил такую модель [50].

В вышеописанных TVECM-моделях переход между режимами происходит в дискретной и резкой манере всякий раз, когда достигается модельный предел (порог). Применительно к экономическим процессам, это означает, что все рыночные агенты демонстрируют одинаковые реакции. При горизонтальной трансмиссии, например, все трейдеры сталкиваются с одинаковыми транзакционными издержками и, следовательно, применяют арбитраж в одно и то же время. При вертикальной передаче цен это означает, что все участники рынка реагируют на одно и то же изменение маржи и имеют одинаковые предположения относительно реакции других участников. В реальном экономическом пространстве преобладает, например, нормальное распределение транзакционных издержек и поведенческих параметров между участниками, переход от одного режима к другому будет постепенным, так как сначала несколько, затем все больше и в конечном итоге все участники реагируют на изменение параметров [26]. STVECM-модели как раз и учитывают такие реалии. Существуют различные вариации моделей коррекции ошибок с плавным переходом: экспоненциальная (ESTVECM) и логистическая (LSTVECM). ESTVECM-модель предполагает экспоненциальную функцию перехода между режимами (thresholds), а LSTVECM-модель предполагает функцию перехода, кривая которой сначала растет медленно, потом быстро, а затем снова замедляет свой рост, стремясь к какому-то пределу. Параметры STVECM-моделей оценивают с помощью метода нелинейных наименьших квадратов.

В дополнение к моделям коррекции ошибок с плавным переходом активно используются авторегрессионные модели с плавным переходом (Smooth Transition Autoregressive models, STAR). Основные подходы к STAR-моделированию и их развитие освещены группой исследователей под руководством D. Van Dijk [51]. Многие ученые использовали черты STAR-моделей для анализа трансмиссии цен. Например, W. Hahn, H. Stewart, D. Blayney, C. Davis провели моделирование ценовой трансмиссии на американском рынке сыров с применением «плавного» подхода [52].

В последние два-три года, в литературе появились обширные обзоры непараметрических регрессий для оценки ценовой трансмиссии. Методы непараметрической регрессии обеспечивают подход, альтернативный параметрическому оцениванию, который требует только слабых идентификационных предположений и, таким образом, сводит к минимуму риск неправильной спецификации модели [53]. Для оценки параметров таких регрессий широко используется численный метод локальных полиномов [26, 54]. P. Čížek и S. Sadıkoğlu исследовали некоторые методы непараметрических регрессий, уделяя особое внимание ядерной оценке плотности случайной величины, которая дополнительно устойчива к нетипичным наблюдениям в ценовых выборках [53]. Ядерная оценка плотности величины является задачей сглаживания данных, когда делается заключение о совокупности, основываясь на конечных выборках экономических данных.

Заключение. В нашем научном обзоре мы рассмотрели существующую эмпирическую литературу по ценовой трансмиссии на аграрных рынках, представили анализ наиболее важных методологических подходов, которые очень неоднородны с точки зрения эконометрических моделей, типа асимметрии и эмпирических результатов. В статье можно найти подробный анализ прикладных исследований в области линейной и нелинейной концепций коинтеграции, также оценены главные достоинства и недостатки наиболее популярных эконометрических моделей для ценовой трансмиссии.

За последние пятьдесят с лишним лет произошли значительные трансформации методологических подходов к изучению трансмиссии цен на аграрных рынках, начиная корреляционным и простым линейным

регрессионным анализом и заканчивая нелинейными, а также непараметрическими приёмами. Сейчас на практике исследователи ценовой трансмиссии применяют современные компьютерные эконометрические пакеты, такие как R, Gretl, JMulti, Eviews и другие.

Безусловно, можно сказать, что методологии и дальше будут развиваться. Например, непараметрические методы только начинают использоваться в прикладных исследованиях ценовой трансмиссии на аграрных рынках. Выше мы обсуждали преимущественно параметрические методологические подходы к анализу ценовой трансмиссии, то есть все параметрические модели требуют спецификации точной функциональной связи перед оценкой. Если функциональная зависимость

между ценами (количество пределов, форма функции и т.п.) выбрана неверно, оценка приведет к ложным выводам. Чтобы избежать ошибок с выбором функциональной связи, в ходе анализа ценовой трансмиссии на аграрных рынках используют непараметрические регрессии. По сравнению с классическими регрессионными уравнениями, они являются более гибкими и обладают лучшей подгонкой ценовых данных. Непараметрические регрессии не лишены и недостатков, среди которых затруднительная интерпретация результатов оценки. Например, непараметрическая VECM-модель всегда покажет результаты, которые асимметричны около нуля, но определить статистическую значимость асимметрии невозможно.

References

1. Vavra P., Goodwin B. K. Analysis of Price Transmission Along the Food Chain. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. 2005;(3):1-58. OECD Publishing, Paris. DOI: <https://doi.org/10.1787/752335872456>
2. Conforti P. Price Transmission in Selected Agricultural Markets. Commodity and Trade Policy Research Working Paper. FAO, 2004. No. 7. 90 p. URL: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/006/ad766e/ad766e00.pdf>
3. Minot N. Transmission of World Food Price Changes to Markets in Sub-Saharan Africa. IFPRI Discussion Paper. Washington, 2011. No. 01059. [Online]. Available: <http://www.ifpri.org/publication/transmission-world-food-price-changes-markets-sub-saharan-africa> (accessed: 8.11.2020).
4. Frey G., Manera M. Econometric models of asymmetric price transmission. Journal of Economic surveys. 2007;21(2):349-415. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=975369
5. Wolfram R. Positivistic Measures of Aggregate Supply Elasticities: Some New Approaches – Some Critical Notes. American Journal of Agricultural Economics. 1971;53(2):356-359. DOI: <https://doi.org/10.2307/1237462>
6. Houck J. P. An Approach to Specifying and Estimating Nonreversible Functions. American Journal of Agricultural Economics. 1977;59(3):570-572. DOI: <https://doi.org/10.2307/1239663>
7. Ward R. W. Asymmetry in Retail, Wholesale, and Shipping Point Pricing for Fresh Vegetables. American Journal of Agricultural Economics. 1982;64(2):205-212. DOI: <https://doi.org/10.2307/1241124>
8. Meyer J., von Cramon-Taubadel S. Asymmetric Price Transmission: A Survey. Journal of Agricultural Economics. 2004;55(3):581-611. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2004.tb00116.x>
9. Kharin S. Price Transmission Analysis: the Case of Milk Products in Russia. AGRIS online Papers in Economics and Informatics. 2018;10(1):15-23. DOI: <https://doi.org/10.7160/aol.2018.100102>
10. Kharin S. Vertical price transmission along the dairy supply chain in Russia. Studies in Agricultural Economics. 2015;117(2):80-85. DOI: <https://doi.org/10.7896/j.1517>
11. Dickey D. A., Fuller W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a Unit Root. Journal of the American Statistical Association. 1979;74(366):427-431. DOI: <https://doi.org/10.2307/2286348>
12. Phillips P. C. B., Perron P. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. Biometrika. 1988;75(2):335-346. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
13. Kwiatkowski D., Phillips P. C., Schmidt P., Shin Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? Journal of econometrics. 1992;54(1-3):159-178. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
14. Phillips P. C. B. (1987) Time series regression with a unit root. Econometrica. 1987;55(2):277-301. DOI: <https://doi.org/10.2307/1913237>
15. Elliott G., Rothenberg T. J., Stock J. H. Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root. Econometrica. 1996;64 (4):813-836. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2171846>
16. Zivot E., Andrews D. Further evidence of the great crash, the oil-price shock and the unit-root hypothesis. Journal of Business and Economic Statistics. 1992;10(3):251-270.
17. Hylleberg S., Engle R. F., Granger C. W. J., Yoo B. S. Seasonal integration and cointegration. Journal of Econometrics. 1990;44(1-2):215-238. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90080-D](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(90)90080-D)

18. Granger C. W. J. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*. 1969;37 (3):424-438. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1912791>
19. Engle R. F., Granger C. W. J. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*. 1987;55 (2):251-276. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1913236>
20. Granger C. W. J., Lee T. H. Investigation of production, sales and inventory relationships using multicointegration and non-symmetric error correction models. *Journal of Applied Economics*. 1989;4(S1):145-159. DOI: <https://doi.org/10.1002/jae.3950040508>
21. Von Cramon-Taubadel S. Estimating asymmetric price transmission with the error correction representation: An application to the German pork market. *European Review of Agricultural Economics*. 1998;25 (1):1-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/erae/25.1.1>
22. Johansen S. Statistical analysis of co-integration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 1988;12(2-3):231-254. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
23. Johansen S., Juselius K. Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration – with Applications to the Demand for Money. Oxford: Oxford Bulletin of Economics and Statistics. 1990;52(2):169-210. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1990.mp52002003.x>
24. Gonzalo J., Lee T. Pitfalls in testing for long run relationships. *Journal of Econometrics*. 1998;86(1):129-154. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(97\)00111-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(97)00111-5)
25. Gregory A., Hansen B. Residual-based tests for cointegration in models with regimeshifts. *Journal of Econometrics*. 1996;70(1):99-126. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(96\)00168-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(96)00168-7)
26. Hassouneh I., von Cramon-Taubadel S., Serra T., Gil J. M. (2012). Recent developments in the econometric analysis of price transmission. TRANSFOP (Transparency of Food Pricing) Working Paper. 2012. No. 2. 27 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/265317731_Recent_Developments_in_the_Econometric_Analysis_of_Price_Transmission
27. Goodwin B. K., Vavra P. What can we learn from spatial and vertical price transmission studies? Empirical examples from US meat markets. Paper presented at the Courant Research Centre «Poverty, Equity and Growth» Inaugural Conference at the University of Göttingen. Germany, 26 June 2009. [Online]. Available at: http://www2.vwl.wiso.uni-goettingen.de/courant-papers/conf/Goodwin1_%20CRC-PEG_Conf_Paper.pdf (accessed: 13.11.2020).
28. Savadatti P. Spatial Market Integration of Arhar (Split) Wholesale Prices in India: Application of Vector Error Correction Model. *Indian Journal of Marketing*. 2018;48(4):21-29. DOI: <https://doi.org/10.17010/ijom/2018/v48/i4/122623>
29. Jena P. K. Commodity market integration and price transmission: Empirical evidence from India. *Theoretical and Applied Economics*. 2016;3(608):283-306. URL: <http://www.ectap.ro/articol.php?id=1214&rid=124>
30. Arnade C., Cooke B., Gale F. Agricultural price transmission: China relationships with world commodity markets. *Journal of Commodity Markets*. 2017;7:28-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2017.07.001>
31. Zhou D., Koemle D. Price transmission in hog and feed markets of China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2015;14(6):1122-1129. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60995-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60995-3)
32. Ozturk O. Market integration and spatial price transmission in grain markets of Turkey. *Applied Economics*. 2020;52(18):1936-1948. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036846.2020.1726862>
33. Hu Z., Wade Brorsen B. Spatial Price Transmission and Efficiency in the Urea Market. *Agribusiness*. 2017;33(1):98-115. DOI: <https://doi.org/10.1002/agr.21475>
34. Balke N., Fomby T. Threshold Cointegration. *International Economic Review*. 1997;38(3):627-645. DOI: <https://doi.org/10.2307/2527284>
35. Baulch B. Transfer costs, spatial arbitrage, and testing for food market integration. *American Journal of Agricultural Economics*. 1997;79(2):477-487. DOI: <https://doi.org/10.2307/1244145>
36. Barrett Ch. B., Li J. R. Distinguishing between equilibrium and integration in spatial price analysis. *American Journal of Agricultural Economics*. 2001;84(2):292-307. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.257342>
37. Hansen B. E., Seo B. Testing for Two-Regime Threshold Cointegration in Vector Error Correction Models. *Journal of Econometrics*. 2002;110(2):293-318. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(02\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(02)00097-0)
38. Kharin S. Horizontal Price Transmission on the Russian Dairy Market: Nonlinear Approach. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*. 2019;11(3):45-54. DOI: <https://doi.org/10.7160/aol.2019.110305>
39. Braha K., Rajčániová M., Qineti A., Pokrivčák J., Lazorčáková E. Evidence of Spatial Price Transmission in the Case of Kosovo. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*. 2019;11(1):3-15. DOI: <https://doi.org/10.7160/aol.2019.110101>
40. Götz L., Glauben T., Brümmer B. Wheat export restrictions and domestic market effects in Russia and Ukraine during the food crisis. *Food Policy*. 2013; 38(C):214-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.12.001>
41. Rosales F., von-Cramon S. Analysis of Price Transmission using a Nonparametric Error Correction Model with Time-Varying Cointegration. 2015 Conference, August 9-14, 2015, Milan, Italy, International Association of Agricultural Economists. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.230227>

42. Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, in B. N. Petrov and F. Csaki (eds). Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory. Budapest: Akademiai Kiado, 1973. pp. 267-281.
43. Schwarz G. Estimating the dimension of a model. The Annals of Statistics. 1978;6 (2):461-464. DOI: <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>
44. Ivanov V., Kilian L. A Practitioner's Guide to Lag Order Selection for Vector Autoregressions. CEPR Discussion Paper 2685. London: Centre for Economic Policy Research, 2001. [Online]. Available at: https://cepr.org/active/publications/discussion_papers/dp.php?dpno=2685 (accessed: 05.11.2020).
45. Shin Y., Yu B., Greenwood-Nimmo M. Modelling Asymmetric Cointegration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Framework. In W. Horrace, & R. Sickles (Eds.). The Festschrift in Honor of Peter Schmidt: Econometric Methods and Applications, 2014. pp. 281-314. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_9
46. Reztis A. N. Investigating price transmission in the Finnish dairy sector: an asymmetric NARDL approach. Empirical Economics. 2019;57:861-900. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00181-018-1482-z>
47. Sims C. Macroeconomics and Reality. Econometrica. 1980;48(1):1-48. DOI: <https://doi.org/10.2307/1912017>
48. Enders W., Siklos P. L. Cointegration and Threshold Adjustmen. Journal of Business & Economic Statistics. 2001;19(2):166-176. DOI: <https://doi.org/10.1198/073500101316970395>
49. Rajcaniova M., Pokrivcak J. Asymmetry in price transmission mechanism: the case of Slovak potato market. Review of agricultural and applied economics (RAAE). 2013;16(2):16-23. DOI: <https://doi.org/10.15414/raae.2013.16.02.16-23>
50. Terasvirta T. Specification, Estimation, and Evaluation of Smooth Transition Autoregressive Models. Journal of the American Statistical Association. 1994;89(425):208-218. DOI: <https://doi.org/10.2307/2291217>
51. Van Dijk D., Teräsvirta T., Franses P. H. Smooth transition autoregressive models – a survey of recent developments. Econometric Reviews. 2002;21(1):1-47. DOI: <https://doi.org/10.1081/ETC-120008723>
52. Hahn W., Stewart H., Blayney D. P., Davis C. G. Modeling price transmission between farm and retail prices: a soft switches approach. Agricultural Economics. 2016;47(2):193-203. DOI: <https://doi.org/10.1111/agec.12222>
53. Čížek P., Sadıkoğlu S. Robust nonparametric regression: A review. WIREs Comput Stat. 2020;12(3):e1492. DOI: <https://doi.org/10.1002/wics.1492>
54. Li Q., Racine J. S. Nonparametric Econometrics: Theory and Practice. Princeton University Press: Princeton, NJ, 2007.

Сведения об авторе

✉ **Сергей Валериевич Харин**, кандидат экон. наук, старший научный сотрудник, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Воронежская область, Российская Федерация, 394087, e-mail: vglt@vglt.vrn.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0563-1269>, e-mail: kharins03@gmail.com

Information about the author

✉ **Sergei V. Kharin**, PhD in Economics, senior researcher, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Timiryazev street, 8, Voronezh, Voronezh region, Russian Federation, 394087, e-mail: vglt@vglt.vrn.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0563-1269>, e-mail: kharins03@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author



Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор)

© 2021. И. Н. Щенникова , Л. П. Кокина

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

Статья посвящена анализу структуры посевных площадей и характеристик сортов ячменя, районированных в Кировской области на 2020 год. В Кировской области в 2019 г. наибольший удельный вес имели сорта, возделываемые в производстве более 20 лет – 50,1 % посевных площадей, занятых ячменем более 10 лет – 36,1 %, от 5 до 10 лет – 13,8 %. Сортосево в процентном отношении к занимаемой ими площади из года в год варьировали. Происходит постепенное снижение несортосево ячменя с 3,0 тыс. га в 2017 г. до 1,18 тыс. га в 2019 г. Площади, занятые сортами ячменя селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока), в структуре посевных площадей в 2019 г. составляли от 21,5 % в южной зоне до 57,8 % в северной зоне Кировской области. Наибольшее распространение в целом по области имели сорт белорусской селекции Зазерский 85 (39,3 % от площадей, занятых ячменем) и сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока: Эколог (10,8 %), Родник Прикамья (7,1 %) и Новичок (7,0 %). В северных районах области соотношение менялось: сорт Эколог – 27,2 %, Родник Прикамья – 18,9 %, Новичок – 9,0 %, Зазерский 85 – 7,7 %. Районированные сорта характеризуются высокой урожайностью (в среднем 4,22-4,79 т/га), устойчивостью к полеганию и болезням. Основным недостатком предложенного к районированию сортимента ячменя является отсутствие стабильной урожайности и различий сортов по продолжительности вегетационного периода. Все сорта относятся к группе среднеспелых, за исключением среднепозднего сорта Зазерский 85. В области не хватает источников высококачественного сырья для кормопроизводства, всего 30,7 % от всего сортимента ячменя в области представлены сортами с ценным по качеству зерном (Эколог, Белгородский 100, Родник Прикамья и Памяти Родины). В настоящее время определяющим в селекционной работе должно стать направление по созданию высокоурожайных, скороспелых, устойчивых к полеганию и болезням сортов ячменя с высоким качеством зерна.

Ключевые слова: *H. vulgare*, сорт, урожайность, устойчивость к полеганию, вегетационный период, качество

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-093).

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):21-31.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31>

Поступила: 06.04.2020

Принята к публикации: 18.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region (analytical review)

© 2021. Irina N. Shchennikova , Larisa P. Kokina

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

The article is devoted to the analysis of the structure of sown areas and characteristics of barley varieties zoned in the Kirov region for 2020. In 2019 in the Kirov region the varieties cultivated in production for more than 20 years had the largest specific weight – 50.1 % of the acreage occupied with barley. Those cultivated for more than 10 years had 36.1 %; from 5 to 10 years – 13.8 %. Certified sowings varied from year to year in percentage to the occupied area. There is a gradual decrease in unsorted sowings of barley from 3.0 thousand hectares in 2017 up to 1.18 thousand hectares in 2019. The areas sown with barley varieties bred in Federal Agricultural Research Center of the North East named N. V. Rudnitsky (FARC North-East) in the structure of sown areas in 2019 were from 21.5 % in the southern zone up to 57.8 % in the northern zone of the Kirov region. For the whole of the region the greatest distribution was recorded among Belarussian cultivars Zazersky 85 (39.3 % of the areas sown with barley), and cultivars bred in FARC North-East: Ecolog (10.8 %), Rodnik Prikamiya (7.1 %) and Novichok (7.0 %). In northern districts of the region the ratio changed: Ecolog – 27.2 %, Rodnik Prikamiya – 18.9 %, Novichok – 9.0 %, Zazersky 85 – 7.7 %. High productivity (4.22-4.79 t/ha in average), resistance to lodging and diseases characterize the zoned cultivars. The main disadvantage of barley assortment offered for zoning is the lack of stable yield and differences in duration of the growing season among the varieties. All cultivars belong to the group of mid-season, except for the mid-late cultivar Zazersky 85. The region is short of the sources of high-quality raw materials for forage production; only 30.7 % of all assortment of barley in the region are presented by cultivars with high grain quality (Ecolog,

Belgorodsky 100, Rodnik Prikamiya and Pamyati Rodinoy). Currently, the trend for developing high-yield early, resistant to lodging and diseases barley varieties of high grain quality is to become the key factor in breeding work.

Keywords: *H. vulgare*, variety, productivity, lodging resistance, growing season, quality

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No.0528-2019-093).

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: Shchennikova I. N., Kokina L. P. Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):21-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31>

Received: 06.04.2020

Accepted for publication: 18.01.2021

Published online: 22.02.2021

Природно-климатические и экономические условия России традиционно обуславливали специфическую структуру возделываемых зерновых культур. Национальными культурами издавна считались пшеница, рожь, овес и ячмень. В настоящее время производство зерна в России, в первую очередь, представлено пшеницей, второе место по значению занимает ячмень, а на третье в последнее время выдвинулась кукуруза, потеснив овес и рожь. В целом доля России в мировом производстве зерна последние годы составляла 3-4 %, в т. ч. пшеницы – 6-8 %, ячменя – 10-13 %, овса – 20-30 %, ржи – 13-30 %, кукурузы – 0,1-0,8 % [1]. Стабильное производство зерна в любой стране базируется на умении использовать новейшие селекционные достижения. Имеющийся ресурсно-сортотипический потенциал не всегда используется достаточно эффективно. Для России характерны замедленные темпы сортосмены, что противоречит логике рыночных отношений. Наиболее приемлемым периодом сортосмены по зерновым культурам в мире считается в среднем 3-5, а не 15-17 лет, что присуще России [2].

Приволжский федеральный округ (ПФО) является одним из основных центров производства зерна в РФ, на его долю приходится 20 % валового сбора [3]. По ПФО основные площади зернового клина заняты яровой пшеницей, однако, в Кировской области первенство по площадям принадлежит яровому ячменю и составляет 36 %¹. Являясь основной зернофуражной культурой в регионе, ячмень относится к проверенной высоконадёжной культуре, которая максимально использует свой биологический потенциал для образования устойчивых урожаев [4]. В структуре посевных площадей Кировской области

наблюдается тенденция увеличения площадей, занятых ячменем, в 2020 г. они составили 104,7 тыс. га.

Замена старых сортов более продуктивными, обладающими высокой адаптацией к почвенно-климатическим условиям Кировской области – один из наиболее действующих и вместе с тем наиболее эффективных способов повышения урожайности. Несмотря на то, что в результате селекции потенциальная урожайность ячменя возросла на 50-60 %, эффективность реализации генетического потенциала новых сортов остается на уровне 30-40 % [5]. В условиях реформирования агропромышленного комплекса и освоения ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий увеличивается и потребность в количестве возделываемых сортов, следовательно, возникает необходимость ускорения сортосмены и сокращения сроков внедрения новых сортов в производство.

Академик РАН Г. А. Баталова [6] отмечает, что в современных селекционных программах пристальное внимание следует уделять получению адаптивных селекционных форм, которые в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов будут способны формировать экономически значимую урожайность. Как правило, свойства сорта влияют и на величину затрат труда и средств на единицу продукции [1]. Совместно с пластичными, широко распространенными сортами необходимо осуществлять адресную селекцию для конкретных почвенно-климатических и экономических условий [7, 8]. Сорта ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона успешно создаются в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока [9] и ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА» [10].

¹Итоги уборки урожая в сельскохозяйственных организациях Кировской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://kirovstat.gks.ru/news/document/81131?print=1> (дата обращения: 01.04.2020).

Селекция ячменя в ФАНЦ Северо-Востока ведется с 1972 г. и неразрывно связана с именем члена-корреспондента Россельхозакадемии, доктора сельскохозяйственных наук Н. А. Родиной. Под ее руководством было создано более 30 сортов ярового ячменя, многие из них были районированы на территории Российской Федерации. Это такие хорошо известные сорта, как Луч, Дина, Добрый, Эколог и другие.

Селекционеры находятся в постоянном поиске новых методов создания исходного материала, соответствующего целям и задачам селекции. Несмотря на успехи молекулярной биологии [11, 12, 13], большинство ученых-селекционеров продолжают создавать сорта, используя методы гибридизации [6, 14], прикладной биотехнологии [15] и мутагенеза [16, 17].

Цель обзора – на основании анализа распространения и морфобиологических особенностей районированных в Кировской области сортов ячменя (*Hordéum vulgare* L.) определить перспективные направления селекции для более эффективного развития агропромышленного комплекса Кировской области.

Материал и методы. Материалами для проведения аналитического обзора послужили данные филиалов ФГБУ «Россельхозцентр»² и ФГБУ «Госсорткомиссия» по Кировской области³ за 2015-2020 гг., Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кировской области⁴.

Поиск материалов был проведен по базам данных eLIBRARY.RU и поисковой системы «Google Академия». Для изучения принят материал, изданный в период 2006-2020 гг.

Основная часть. Об особенностях почвенно-климатических условий Кировской области и необходимости создания адаптивных сортов говорит тот факт, что из 40 сортов ярового ячменя, допущенных к использованию на территории Волго-Вятского региона⁵, только

14 (35 %) были признаны пригодными для возделывания и районированы в Кировской области на 2020 г.⁶ (табл. 1).

Распространение сортов ячменя в Кировской области. В отличие от других регионов [2], в Кировской области в 2019 г. наибольший удельный вес имели посевные площади сортов, возделываемых более 20 лет – 50,1 %, сорта, используемые в производстве более 10 лет, занимали 36,1 %, от 5 до 10 лет – 13,8 %. Сорт, районированных в области за последние 5 лет, в посевах ячменя 2019 г. не зарегистрировано. За последние три года не изменились площади под относительно новыми сортами, возделываемыми 5-10 лет, незначительно (2,3 %) увеличились площади под сортами старше 20 лет и на 15,0 % выросли посевные площади сортов, включенных в Госреестр 10-15 лет назад (рис. 1).

Сортовые посевы ячменя в области, в процентном отношении к занимаемой им площади, из года в год варьируют. Положительным является то, что в области происходит постепенное снижение несортных посевов ячменя с 3,0 тыс. га в 2017 г. до 0,99 тыс. га⁷ в 2020 г. Однако внедрение в производство новых сортов происходит очень медленными темпами.

Эффективность ведения сельскохозяйственного производства в регионе зависит от уровня урожайности культур, которая в значительной мере определяется степенью внедрения новых сортов и наличием взаимовыгодной связи между оригинаторами сортов, производителями и потребителями семян. Селекционные учреждения непрерывно создают новые сорта ячменя⁸, которые превосходят старые по урожайности, качеству и другим хозяйственно ценным признакам и свойствам, способствуют повышению продуктивности производства зерна, однако, внедрение их в производство не всегда эффективно.

²ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр» по Кировской области. [Электронный ресурс].

URL: <https://rosselhoccenter.com/index.php/nashi-uslugi-i-rastsenki111111> (дата обращения: 3.03.2020).

³ФГБУ «Госсорткомиссия» по Кировской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://edu2you.ru/place/183808> (дата обращения: 10.02.2020).

⁴Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кировской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://kirovstat.gks.ru/folder/25176> (дата обращения: 12.03.2020).

⁵Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения: 10.03.2020).

⁶Результаты сортоиспытаний сельскохозяйственных культур на госсортоучастках Кировской области за 2017-2019 гг. и сортовое районирование на 2020 г. Киров, 2020. 64 с.

⁷URL: <https://rosselhoccenter.com/index.php/nashi-uslugi-i-rastsenki111111>

⁸Характеристики сортов растений, впервые включенных в 2020 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 490 с.

Таблица 1 – Сорта ячменя, районированные в Кировской области на 2020 г. /
Table 1 – The barley cultivars zoned in the Kirov region for 2020

<i>Сорт / Cultivar</i>	<i>Оригинатор / Originator</i>	<i>Год включения в реестр / Year of including into register</i>	<i>Характеристика* / Characteristics*</i>
Абава / Abava	Стендская ГСС, Латвия / Stand HMRC, Latvia	1982	Пивоваренный, ценный**, среднеспелый / Brewing, valuable **, mid-season
Зазерский 85 / Zazersky 85	РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», Беларусь, ФАНЦ Северо-Востока, РФ / RPC NAS of Belarus for Arable Farming, Belarus, FARC North-East, Russia	1986	Пивоваренный, ценный**, среднепоздний / Brewing, valuable **, mid-late
Эколог / Ekolog	ФАНЦ Северо-Востока, РФ / FARC North-East, Russia	1992	Ценный**, среднеспелый / Valuable **, mid-season
Новичок / Novichok	ФАНЦ Северо-Востока, РФ / FARC North-East, Russia	2002	Для кислых почв, среднеспелый / For acidic soils, mid-season
Лель / Lel'	ФАНЦ Северо-Востока, РФ / FARC North-East, Russia	2005	Многорядный, среднеспелый / Multirow, mid-season
Нур / Nur	ФИЦ «Немчиновка», РФ / FIC "Nemchinovka", Russia	2008	Пивоваренный, ценный**, среднеспелый / Brewing, valuable **, mid-season
Тандем / Tandem	ФАНЦ Северо-Востока, РФ / FARC North-East, Russia	2008	Многорядный, среднеспелый / Multirow, mid-season
Белгородский 100 / Belgorodsky 100	НПФ «Белселект», РФ / NPF Belselect, Russia	2010	Ценный**, среднеспелый / Valuable **, mid-season
Родник Прикамья / Rodnik Prikamiya	ФАНЦ Северо-Востока, Пермский НИИСХ, РФ / FARC North-East, Perm NIIS, Russia	2011	Ценный**, среднеспелый / Valuable **, mid-season
Яромир / Yaromir	ФИЦ «Немчиновка», РФ / FIC "Nemchinovka", Russia	2013	Среднеспелый / Mid-season
Памяти Родины / Pamyati Rodinoj	ФАНЦ Северо-Востока, РФ / FARC North-East, Russia	2014	Ценный**, среднеспелый / Valuable **, mid-season
Изумруд / Izumrud	Вятская ГСХА, РФ / Vyatka GSHA, Russia	2015	Среднеспелый / Mid-season
Батька / Bat'ka	РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», Беларусь / RPC NAS of Belarus for Arable Farming, Belarus	2017	Среднеспелый / Mid-season
Нургуш / Nurgush	Челябинский НИИСХ, РФ / Chelyabinsk NIISH, Russia	2020	Многорядный, среднеспелый / Multirow, mid-season

* – данные Госкомиссии по сортоиспытанию / * data of the State Commission on sorting testing

** – включен в список ценных по качеству сортов РФ / ** – included in the list of valuable varieties of the Russian Federation

Различия между сортами по темпам распространения в области рассмотрены на примере новых сортов Родник Прикамья, Яромир и Изумруд, допущенных к использованию в регионе за последние 10 лет (табл. 1) и занимающие площадь более 500 га (рис. 2). Более быстрые темпы увеличения площадей, занятых сортом Родник Прикамья, объясняются наличием в регионе оригинатора сорта

(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров) и хорошо налаженной системы первичного семеноводства. Так, в 2019 г. В структуре посевных площадей сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока занимали от 21,5 % в южной зоне до 57,8 % в северной зоне Кировской области; сорта, оригинатором которых является центр (табл. 1) – 68,7 % площадей ячменя в области.

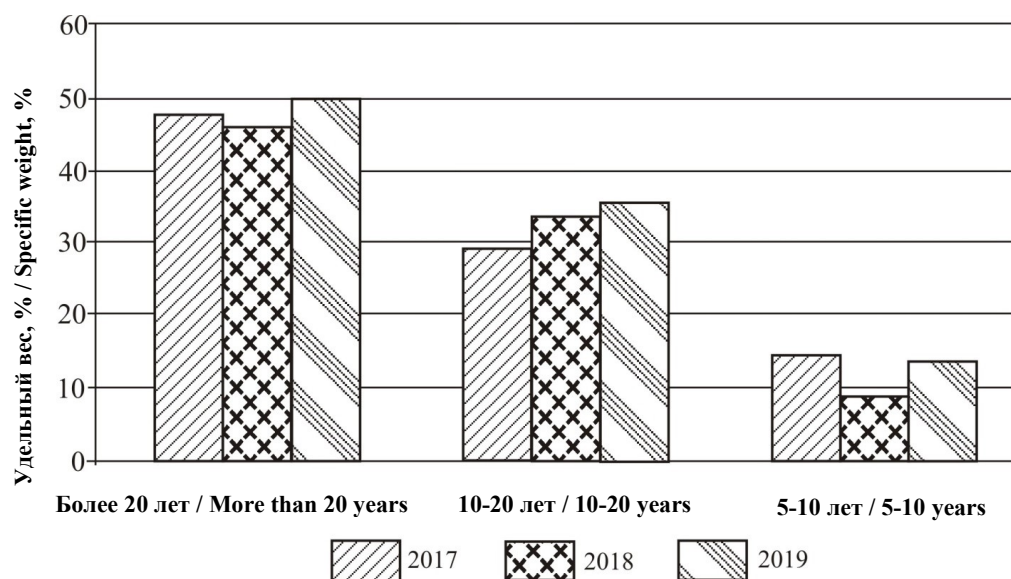


Рис. 1. Удельный вес сортов ячменя в посевных площадях Кировской области в зависимости от сроков нахождения в производстве, 2017-2019 гг. /

Fig. 1. Specific weight of barley cultivars in acreages of the Kirov region depending on the periods in production, 2017-2019 years

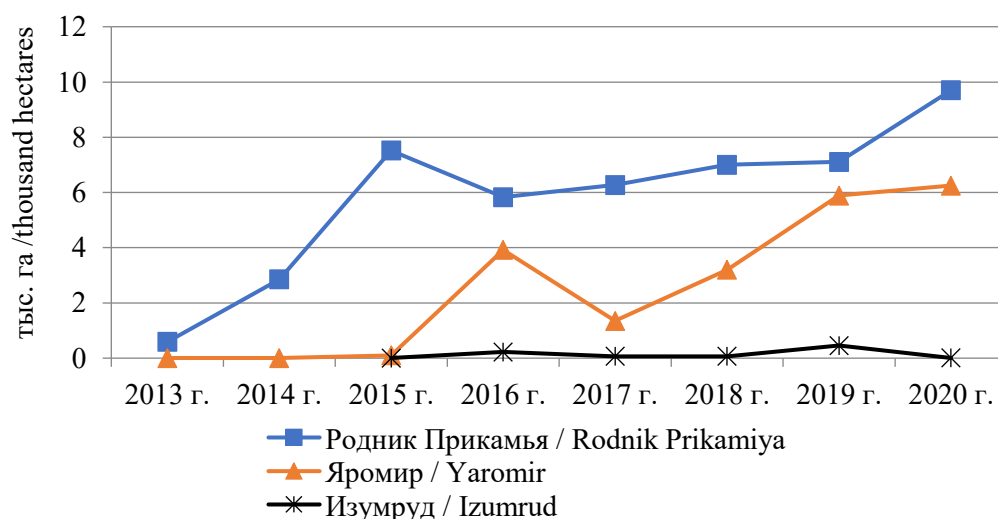


Рис. 2. Динамика посевных площадей сортов ячменя в Кировской области /

Fig. 2. Dynamics of acreage of barley cultivars in the Kirov region

Наибольшее распространение в 2019 г. имели сорта Зазерский 85 (39,3 % от площадей, занятых ячменем), Эколог (10,8 %), Нур (10,4 %), Родник Прикамья (7,1 %) и Новичок (7,0 %). В северных районах области распределение сортов менялось, сорт Эколог занимал 27,2 %, Родник Прикамья – 18,9 %, Новичок – 9,0 %, Зазерский 85 – 7,7 %. Необходимо отметить, что ФАНЦ Северо-Востока является оригинатором всех выделенных сортов, за исключением ячменя Нур.

Факторы, обеспечивающие высокую урожайность ячменя. Все районированные сорта характеризовались высокой урожайно-

стью. Максимальная за последние 5 лет урожайность отмечена в 2015 г. на Зуевском сортоучастке у сорта Лель (6,80 т/га), высокой урожайностью в отдельные годы отличались сорта Белгородский 100 (6,76 т/га, 2014 г., Советский ГСУ), Батяка (6,73 т/га, 2015 г., Малмыжский ГСУ) и Яромир (6,64 т/га, 2017 г., Советский ГСУ). В среднем за 3 года сортоиспытаний (2015-2017 гг.) по урожайности выделялись сорта: Батяка (4,79 т/га), Белгородский 100 (4,63 т/га), Яромир (4,56 т/га), Памяти Родины (4,49 т/га), Эколог (4,44 т/га) и другие. Однако стабильностью данного признака отличался только сорт Родник Прика-

мья. При среднем значении 4,22 т/га разница между максимальной и минимальной урожайностью сорта на сортоучастках области составляла 3,86 т/га, тогда как у сорта Яромир снижение урожайности в неблагоприятных условиях вегетации достигало 5,12 т/га, Батка – 4,58 т/га.

В получении высокой урожайности сельскохозяйственных культур значительную роль играют не только факторы, которые наследуются и могут быть улучшены селекционным путем, но и те, которые в значительной мере зависят в целом от культуры (способность к кущению и т. д.), условий выращивания⁹ и применяемых агротехнологических приемов (сроки сева¹⁰, нормы высева¹¹, обеспеченность элементами питания¹² и т. д.).

Масса 1000 зерен – один из наиболее важных наследуемых факторов, обеспечивающих высокую урожайность сортов ячменя [18]. Среди двурядных сортов по данному признаку выделялся сорт Памяти Родины. В 2016 г. на Слободском и Зуевском сортоучастках области масса 1000 зерен у сорта составляла 61,4 и 62,8 г соответственно, в среднем за годы оценки – 52,9 г. Массой 1000 зерен более 50 г характеризовались сорта Белгородский 100 (51,7 г) и Эколог (51,1 г).

Вызывает сомнение целесообразность районирования многорядного сорта Нургуш. Несмотря на более высокую потенциальную урожайность многорядных сортов по сравнению с двурядными [14, 19], такие сорта не находят широкого применения в области. Примером тому могут служить сорта Лель и ТанDEM, районированные с 2005 и 2008 г. соответственно. Сорт Лель максимальные площади в области занимал в 2009 г. (2689 га), к 2019 г. площади сократились до 432 га. Сорт ТанDEM возделывался с 2008 г. в СПК «Красный Октябрь» Куменского района Кировской области, где стабильно показывал урожай-

ность на уровне 4,0 т/га, однако и под этим сортом площади в области сократились с 6030 га (2015 г.) до 822 га¹³ (2020 г.). Основными причинами отказа производителей от возделывания многорядных ячменей является сложность ведения их семеноводства. А также то, что они имеют более мелкое зерно по сравнению с двурядными, и для реализации потенциальных возможностей многорядных ячменей необходимо создавать более благоприятные условия по влагообеспеченности с применением интенсивных технологий [20].

Установлена существенная корреляционная зависимость урожайности от *устойчивости сортов к полеганию* ($r = 0,72$) [21] в условиях Кировской области. В связи с этим особое внимание необходимо уделять созданию и внедрению в производство неполегающих сортов ячменя. Среди районированных сортов высокой устойчивостью к полеганию¹⁴ характеризовались сорта Яромир (4,7 балла), Зазерский 85 (4,7), Батка (4,6) и ТанDEM (4,5), имеющие балл устойчивости 4,5 и выше, что дает возможность возделывания их на высоком агрофоне, не опасаясь сильного полегания растений. Менее устойчивы сорта Изумруд (3,6 балла), Памяти Родины (4,0) и Новичок (4,0), это свидетельствует о необходимости при их выращивании применения сбалансированных по элементам питания удобрений, особенно по содержанию азота.

Продолжительность вегетационного периода определяется генетической природой сорта и зависит от агроклиматических условий вегетации. По данному признаку в значительной мере определяется пригодность сорта для возделывания в конкретном регионе [4]. Основной проблемой создания скороспелых урожайных сортов ячменя является то, что между этими важнейшими признаками существует отрицательная корреляция, что очень осложняет селекционную работу.

⁹Факторы формирования урожайности сельскохозяйственных культур. Инфопедия. [Электронный ресурс]. URL: <https://infopedia.su/3x9964.html> (дата обращения: 2.02.2020).

¹⁰Сроки сева. Mse-online.ru. для малого и среднего бизнеса. [Электронный ресурс]. URL: <http://mse-online.ru/zemledelie/sroki-seva.html> (дата обращения: 12.01.2020).

¹¹Нормы высева. Академик. Словари и энциклопедии на академике. [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/agriculture/2042/%D0%9D%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%AB> (дата обращения: 25.01.2020).

¹²Влияние внешних условий на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений. РГАУ-МСХА. Зооинженерный факультет. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.activestudy.info/vliyanie-vneshnix-uslovij-na-urozhajnost-selskoxozyajstvennyx-kultur-i-effektivnost-udobrenij/> (дата обращения: 21.02.2020).

¹³URL: <https://rosselhocenter.com/index.php/nashi-uslugi-i-rastsenki11111>

¹⁴Результаты сортоиспытаний сельскохозяйственных культур на госсортоучастках Кировской области за 2017-2019 гг. и сортовое районирование на 2020 г. 2020. С. 59-61.

Скороспелые сорта, как правило, уступают средне- и позднеспелым по урожайности [22, 23, 24, 25], однако они востребованы в производстве. Скороспелые сорта, в отличие от позднеспелых, способны давать высококачественные семена в условиях более короткого вегетационного периода, что характерно для северных районов Кировской области. В регионе скороспелые сорта ячменя при определенных условиях созревают в конце июля-начале августа, что также является важным при использовании их в качестве покровной культуры и создания зеленого конвейера для планового обеспечения животноводства кормами. Основным недостатком предложенного к районированию сортимента является отсутствие различающихся по продолжительности вегетационного периода сортов ячменя. Все сорта относятся к группе среднеспелых, за исключением среднепозднего сорта Зазерский 85.

Из-за низкого качества зерна, недостатка в нем белка и энергии на производство животноводческой и птицеводческой продукции в России тратится в 1,2-1,5 раза большее количество кормов, чем в развитых странах [26]. В Кировской области, как и в целом по России, не хватает источников высококачественного сырья для кормопроизводства. По оценкам Российского зернового союза, доля зерна в отечественных комбикормах составляет 70-80 %. Как правило, это пшеница, ячмень или овес, характеризующиеся содержанием белка 8-12 %, а необходимо – более 17 % [27, 28]. Из семи районированных сортов ячменя, включенных в список ценных по качеству сортов РФ¹⁵, три относятся к группе пивоваренных (Абава, Зазерский 85, Нур), то есть сортов с потенциальным содержанием белка в зерне не более 12 %¹⁶. Сорта Эколог, Белгородский 100, Родник Прикамья и Памяти Родины при возделывании на высоком агрофоне могут обеспечить получение зерна с более высоким содержанием белка. Однако эти сорта составляют всего

30,7 % от всего сортимента ячменя в области, при том, что интенсивное развитие животноводства в Кировской области требует создания прочной кормовой базы и обеспечения животных концентрированными кормами [29].

Устойчивость к болезням. По данным Г. А. Баталовой [30], за последние 10-15 лет не выявлено существенных изменений в видовой структуре и динамике патогенных комплексов на посевах сельскохозяйственных культур в Кировской области. Тем не менее, отмечается нарастание распространения и вредоносности болезней колоса, листовых болезней, корневых гнилей. Согласно исследованиям Т. К. Шешеговой [31], основными болезнями, которыми поражается ячмень в Кировской области, являются пятнистости грибной и бактериальной этиологии (полосатая, сетчатая, окаймленная, темно-бурая, бактериозы листьев) и корневые гнили. Отмечается наиболее сильное распространение в посевах ячменя сетчатой пятнистости (до 62,6 % при степени поражения 21,2 %), развитие корневых инфекций (до 3,0-22,0 %) и частое проявление пыльной головки при поражении от 0,10 до 0,90 %. Однако вредоносность болезней определяет не частота их проявления, а экономически значимый уровень развития. Районированные сорта характеризуются толерантностью к основным болезням ячменя в регионе. Так, все сорта (по данным авторов), за исключением Белгородский 100, Тандем, Яромир и Изумруд, устойчивы к пыльной головне. Сорта Эколог, Новичок, Родник Прикамья¹⁷ и Нургуш¹⁸ практически устойчивы к черной и твердой головне. Слабовосприимчивы к пятнистостям листьев: полосатой – Эколог, Родник Прикамья, Яромир¹⁹, сетчатой – Нургуш, Зазерский 85, темно-бурой – Батка²⁰. Сравнительно устойчивы к корневым гнилям – Эколог, Новичок, Лель, Родник Прикамья, Памяти Родины, Нур и Изумруд²¹.

¹⁵URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/>

¹⁶ГОСТ 5060-86. Ячмень пивоваренный. Технические условия (с Изменением №1). М.: Стандартинформ, 2019. 6 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023680>

¹⁷Семена зерновых культур. Ячмень. Сорт Эколог. ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудникова»: [официальный сайт]. URL: <http://fanc-sv.ru/products/semena-zernovykh-kultur/yachmen/sort-ekolog.html> (дата обращения: 28.03.2020).

¹⁸Ячмень Нургуш от Челябинский НИИСХ. ГлавАгроном: [сайт]. URL: <https://glavagronom.ru/base/seeds/zernofurazhnie-yachmen-yarovoi-nurgush-chelyabinskiy-niish-8262322> (дата обращения: 18.03.2020).

¹⁹Ячмень Яромир от ФИЦ Немчиновка. ГлавАгроном: [сайт]. URL: <https://glavagronom.ru/base/seeds/zernofurazhnie-yachmen-yarovoi-yaromir-fic-nemchinovka-8953755> (дата обращения: 23.03.2020).

²⁰Ячмень яровой Батка. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.yfermer.ru/selskohozyaistvennierastenia/329236.html> (дата обращения: 13.02.2020).

²¹Изумруд – сорт растения Ячмень яровой. Дача-Дача.ру. [Электронный ресурс]. URL: <https://dacha-dacha.ru/sorta/yachmen-yarovoj/izumrud> (дата обращения: 16.02.2020).

Снижения урожайности сортов ячменя от поражения болезнями можно избежать, соблюдая при выращивании рекомендованные технологии возделывания культуры и используя фунгициды для обработки семян и защиты посевов с учетом развития болезней, превышающих экономические пороги вредности. В научно-исследовательской работе необходим постоянный мониторинг фитосанитарного состояния посевов для оперативной корректировки селекционной работы. Селекция на иммунитет имеет приоритетное значение, в Кировской области следует ориентироваться на создание сортов ячменя, устойчивых к головневой, гельминтоспориозной и септориозной инфекциям [30].

Заключение. Основной задачей в настоящее время остается выведение высокоурожайных сортов ячменя с минимальной ответ-

ной реакцией на неблагоприятные факторы среды. Создание энергоресурсоэкономных сортов, в первую очередь за счет повышения устойчивости к полеганию, слабой восприимчивости к основным болезням, позволит не только уменьшить неблагоприятное воздействие на окружающую среду, но и поднять рентабельность производства.

Таким образом, для эффективного развития сельскохозяйственной отрасли в Кировской области необходимо создавать высокоурожайные, адаптивные к почвенно-климатическим условиям региона сорта ячменя, что позволит ускорить сроки сортосмены. Определяющим в селекционной работе остается создание сортов с высокой и стабильной урожайностью, скороспелых, устойчивых к полеганию и болезням, с высоким качеством зерна.

Список литературы

1. Жидков С. А., Воронина Е. А. Состояние и перспективы развития мирового рынка продовольственного зерна. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019;(1):154-156. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37147002>
2. Фирсова Т. И., Раева С. А. Использование сортовых ресурсов озимой пшеницы в Ростовской области. Зерновое хозяйство России. 2017;(6):43-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30771238>
3. Киндаев А. Ю. Анализ региональной структуры посевных площадей и урожайностей зерновых культур (на материалах субъектов Приволжского федерального округа). XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016;(1):103-108. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25750769>
4. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров, 2006. 488 с.
5. Фомина М. Н. Особенности формирования зерновой продуктивности перспективных сортов ячменя в зоне Северного Зауралья. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016;(2):28-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26040488>
6. Баталова Г. А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России. Зерновое хозяйство России. 2011;(3):15-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17039179>
7. Сурин Н. А., Зобова Н. В., Ляхова Н. Е. Генетический потенциал и селекционная значимость ячменя Сибири. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014;18(2):378-386. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21801612>
8. Марухняк А. Я. Оценка адаптивных особенностей сортов ярового ячменя. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(1):67-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32657580>
9. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Приоритетные направления и некоторые результаты селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе. Известия Самарского научного центра РАН. 2018;20(2-2):214-219. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36289155>
10. Жилин Н. А., Дудин Г. П. Мутационная изменчивость ярового ячменя под влиянием лазерного красного света и карбоната натрия. Плодоводство и ягодоводство России. 2012;33:169-176. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17746804>
11. Лисицын Е. М. Использование маркерной селекции в создании моделей сортов зерновых культур, устойчивых к абиотическим стрессам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(3): 4-12. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.04-12>
12. Дейнеко Е. В. Генетическая инженерия растений. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014;18(1):125-137. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21801583>
13. Бакулина А. В., Широких И. Г. Подходы к повышению продуктивности и адаптивности ячменя с помощью технологий генетической модификации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(1):5-19. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.20.1.05-19>
14. Сурин Н. А., Ляхова Н. Е., Герасимов С. А., Липшин А. Г. Реализация идей Н. И. Вавилова в селекции ячменя в Сибири. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018;179(1):78-88. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-1-78-88>
15. Шуплецова О. Н., Широких И. Г. Повышение устойчивости ячменя к токсичности металлов и осмотическому стрессу путем клеточной селекции. Зерновое хозяйство России. 2015;(1):57-62. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22994658>

16. Кузнецова Т. Е., Левштанов С. А., Серкин Н. В., Нестеренко В. В., Веретельникова Н. А., Останина Т. В. Методы и результаты селекции ярового ячменя на Кубани. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(12):20-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25279736>
17. Дудин Г. П., Жилин Н. А. Мутационная изменчивость ячменя под влиянием карбоната натрия и излучения красного диапазона. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014;12(122):44-49. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22619256>
18. Лепехов С. Б. Эффективность отбора в ранних поколениях гибридов сельскохозяйственных культур по урожайности и признакам продуктивности (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018;179(4):177-190. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-4-177-190>
19. Прудун Ю. П. Селекция многозерного ячменя в условиях южного Урала. АПК России. 2018;25(1):55-56. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32484902>
20. Козубовская Г. В., Балакшина В. И. Урожайность многозерного ярового ячменя разновидностей *pallidum* в сухостепной зоне. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018;179(4):67-73. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-4-67-73>
21. Зайцева И. Ю., Щенникова И. Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(3): 32-40. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-32-40>
22. Суринов Н. А., Ляхова Н. Е., Герасимова С. А., Липшин А. Г. Создание высокопродуктивных сортов ячменя Восточно-Сибирской селекции в условиях глобального изменения климата. Достижения науки и техники АПК. 2014;6:3-6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21741713>
23. Коккина Л. П., Щеклеина Л. М., Кунилова А. В. Источники селекционно-ценных признаков и их использование в создании адаптивных к условиям Волго-Вятского региона сортов ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3):9-14. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14>
24. Куркова С. В., Беребердин Н. А. Изменчивость продуктивности сортов зерновых культур в условиях степной зоны Западной Сибири. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018;48(3):14-20. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-3-2>
25. Батакова О. Б., Корелина В. А., Иванова Н. В., Анисимова А. В., Ковалева О. Н. Испытание новых скороспелых линий ячменя в условиях северного региона Российской Федерации. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2016;177(4):37-44. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-4-37-44>
26. Клименко В. П., Кривошеев Д. М., Петров А. Б., Худякова Х. К. Эффективный способ повышения питательной ценности зерна овса и ячменя. Вестник НГИЭИ. 2017;(8):34-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29987035>
27. Косолапов В. М. Кормопроизводство в экономике сельского хозяйства России: состояние, проблемы и перспективы. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2009;(9):6-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12873829>
28. Акильева О. Реалии и перспективы комбикормовой отрасли. Животноводство России. 2009;(6):59-60.
29. Давыдова Ю. В. Анализ основных тенденций и прогнозирование развития молочного скотоводства в Кировской области. Московский экономический журнал. 2019;(4):30. DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-14028>
30. Баталова Г. А. Селекция зерновых культур на иммунитет на северо-востоке Европейской территории России. Зерновое хозяйство России. 2017;(3):8-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29385631>
31. Шешегова Т. К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;(5):10-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113596>

References

1. Zhidkov S. A., Voronina E. A. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya mirovogo rynka prodovol'stvennogo zerna*. [Condition and prospects of development of the world food grain market]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;(1):154-156. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37147002>
2. Firsova T. I., Raeva S. A. *Ispol'zovanie sortovykh resursov ozimoy pshenitsy v Rostovskoy oblasti*. [The use of the varietal resources of winter wheat in the Rostov region]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017;(6):43-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30771238>
3. Kindyaev A. Yu. *Analiz regional'noy struktury posevnykh ploshchadey i urozhaynostey zernovykh kul'tur (na materialakh sub'ektov Privolzhskogo federal'nogo okruga)*. [The analysis of the regional structure of sowing areas and yield of crops (on materials of subjects of the Volga federal district)]. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* = XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. 2016;(1):103-108. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25750769>
4. Rodina N. A. *Seleksiya yachmenya na Severo-Vostoke Nechernozem'ya*. [Barley breeding in North-East of Non-Chernozem Zone]. Kirov, 2006. 488 p.
5. Fomina M. N. *Osobennosti formirovaniya zernovoy produktivnosti perspektivnykh sortov yachmenya v zone Severnogo Zaural'ya*. [Features of grain productivity formation in promising barley varieties in Northern Trans-Ural]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2016;(2):28-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26040488>

6. Batalova G. A. *Sostoyaniye i perspektivy seleksii i vozdeleyvaniya zernofurazhnykh kul'tur v Rossii*. [Condition and perspectives of grain forage crops selection and cultivation in Russia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2011;(3):15-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17039179>
7. Surin N. A., Zobova N. V., Lyahova N. E. *Geneticheskiy potentsial i selektsionnaya znachimost' yachmenya Sibiri*. [The genetic potential of barley in Siberia and its importance for breeding]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2014;18(2):378-386. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21801612>
8. Marukhnyak A. Ya. *Otsenka adaptivnykh osobennostey sortov yarovogo yachmenya*. [Estimation of adaptive features of spring barley varieties]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2018;(1):67-72. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32657580>
9. Shchennikova I. N., Kokina L. P. *Prioritetnye napravleniya i nekotorye rezul'taty seleksii yarovogo yachmenya v Volgo-Vyatskom regione*. [Priority directions and some results of spring barley breeding in Volga-Vyatka region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-2):214-219. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36289155>
10. Zhilin N. A., Dudin G. P. *Mutatsionnaya izmenchivost' yarovogo yachmenya pod vliyaniem lazernogo krasnogo sveta i karbonata natriya*. [Mutational variability of spring barley under influence of laser red light and sodium carbonate]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2012;33:169-176. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17746804>
11. Lisitsyn E. M. *Ispol'zovanie markernoy seleksii v sozdanii modeley sortov zernovykh kul'tur, ustoychivyykh k abioticheskim stressam*. [Use of marker-assisted selection in creation of models of cereal crops varieties resisted to abiotic stresses]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(3): 4-12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.04-12>
12. Deineko E. V. *Geneticheskaya inzheneriya rasteniy*. [Genetic engineering of plants]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2014;18(1):125-137. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21801583>
13. Bakulina A. V., Shirokikh I. G. *Podkhody k povysheniyu produktivnosti i adaptivnosti yachmenya s pomoshch'yu tekhnologiy geneticheskoy modifikatsii*. [Increasing of barley productivity and adaptability by using genetic modification technologies]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(1):5-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.20.1.05-19>
14. Surin N. A., Lyakhova N. E., Gerasimov S. A., Lipshin A. G. *Realizatsiya idey N. I. Vavilova v seleksii yachmenya v Sibiri*. [Realization of ideas N. I. Vavilov's ideas in the barley breeding in Siberia]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2018;179(1):78-88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-1-78-88>
15. Shupletsova O. N., Shirokikh I. G. *Povyshenie ustoychivosti yachmenya k toksichnosti metallov i osmoticheskoy stressu putem kletchnoy seleksii*. [Increase of barley tolerance to toxicity of metals and osmotic stress using cell selection]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2015;(1):57-62. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22994658>
16. Kuznetsova T. E., Levshantov S. A., Serkin N. V., Nesterenko V. V., Veretelnikova N. A., Ostanina T. V. *Metody i rezul'taty seleksii yarovogo yachmenya na Kubani*. [Methods and results of spring barley breeding in Krasnodar region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(12):20-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25279736>
17. Dudin G. P., Zhilin N. A. *Mutatsionnaya izmenchivost' yachmenya pod vliyaniem karbonata natriya i izlucheniya krasnogo diapazona*. [Mutational variability of barley under the effect of sodium carbonate and red emission]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2014;12(122):44-49. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22619256>
18. Lepekhov S. B. *Effektivnost' otbora v rannikh pokoleniyakh gibridov sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po urozhaynosti i priznakam produktivnosti (obzor)*. [Efficiency of selection in early generations of crop hybrids for high yield and yield components (a review)]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2018;179(4):177-190. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-4-177-190>
19. Pryadun Yu. P. *Selektsiya mnogoryadnogo yachmenya v usloviyakh yuzhnogo Urala*. [Selection of common barley in the southern Urals]. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2018;25(1):55-56. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32484902>
20. Kozubovskaya G. V., Balakshina V. I. *Urozhaynost' mnogoryadnogo yarovogo yachmenya raznovidnostey pallidum v sukhostepnoy zone*. [The yield of multi-rowed barley (var. pallidum) in the arid steppe zone]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2018;179(4):67-73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-4-67-73>
21. Zaytseva I. Yu., Shchennikova I. N. *Sopryazhennost' morfologicheskikh priznakov s ustoychivost'yu k poleganiyu yarovogo yachmenya v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona*. [Association of morphological traits with lodging resistance in spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(3): 32-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-3-32-40>
22. Surin N. A., Lyakhova N. E., Gerasimova S. A., Lipshin A. G. *Sozdanie vysokoproduktivnykh sortov yachmenya Vostochno-Sibirskoy seleksii v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata*. [Reation of highly productive barley varieties of the east Siberian selection in the conditions of global climate changes]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2014;6:3-6. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21741713>

23. Kokina L. P., Shchekleina L. M., Kunilova A. V. *Istochniki selektsionno-tsennykh priznakov i ikh ispol'zovanie v sozdanii adaptivnykh k usloviyam Volgo-Vyatskogo regiona sortov yachmenya*. [Sources of valuable breeding traits and their use in creation of barley varieties adapted to conditions of Volga-Vyatka region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3):9-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.58.3.09-14>
24. Kurkova S. V., Bereberdin N. A. *Izmenchivost' produktivnosti sortov zernovykh kul'tur v usloviyakh stepnoy zony Zapadnoy Sibiri*. [Yield variability of grain crop varieties in the conditions of the steppe zone of western Siberia]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2018;48(3):14-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-3-2>
25. Batakova O. B., Korelina V. A., Ivanova N. V., Anisimova A. V., Kovaleva O. N. *Ispytanie novykh skorospelykh liniy yachmenya v usloviyakh severnogo regiona Rossiyskoy Federatsii*. [Environmental study of new early-maturing barley lines]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2016;177(4):37-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-4-37-44>
26. Klimenko V. P., Krivosheev D. M., Petrov A. B., Khudyakova Kh. K. *Effektivnyy sposob povysheniya pitatel'noy tsennosti zerna ovsa i yachmenya*. [The effective method of increasing the nutritional value of oat and barley grain]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2017;8(75):34-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29987035>
27. Kosolapov V. M. *Kormoproizvodstvo v ekonomike sel'skogo khozyaystva Rossii: sostoyanie, problemy i perspektivy*. [Feed crop production in agriculture economic of Russia: conditions, problems, prospects]. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* = Economy of agricultural and processing enterprises. 2009;(9):6-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12873829>
28. Akil'eva O. *Realii i perspektivy kombikormovoy otrasli*. [Realities and prospects of combined fodder branch]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2009;(6):59-60. (In Russ.).
29. Davydova Yu. V. *Analiz osnovnykh tendentsiy i prognozirovaniye razvitiya molochnogo skotovodstva v Kirovskoy oblasti*. [The analysis of top trends and forecasting of development of dairy cattle breeding in the Kirov region]. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal* = Moscow journal. 2019;(4):30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-14028>
30. Batalova G. A. *Selektsiya zernovykh kul'tur na immunitet na severo-vostoke Evropeyskoy territorii Rossii*. [Grain crop breeding for immunity in the north-east of the European territory of Russia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017;(3):8-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29385631>
31. Sheshegova T. K. *Analiz fitosanitarnogo sostoyaniya posevov yarovykh zernovykh kul'tur v Kirovskoy oblasti (analiticheskiy obzor)*. [Analysis of a phytosanitary condition of sowings of spring grain crops in the Kirov region (analytical review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;(5):10-14 (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113596>

Сведения об авторах

✉ **Щенникова Ирина Николаевна**, член-корреспондент РАН, доктор с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5143-9246>, e-mail: i.schennikova@mail.ru

Коккина Лариса Павловна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Information about the authors

✉ **Irina N. Shchennikova**, corresponding member of RAS, DSc in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Barley Breeding and Primary Seed Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5143-9246>, e-mail: i.schennikova@mail.ru

Larisa P. Kokina, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Barley Breeding and Primary Seed Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.32-46>
УДК 636.085.55+664.72



Физические методы снижения содержания микотоксинов в кормах и их применение в комбикормовой промышленности (обзор)

© 2021. С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников ✉

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

В обзоре рассмотрены вопросы снижения содержания микотоксинов в кормах физическими методами и их применения при производстве комбикормов. Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что физические методы снижения содержания микотоксинов в кормах являются достаточно эффективными. Физические методы включают очистку и сортировку сырья, шелушение зерна, измельчение с удалением наружных слоев зерна, нагревание, экструдирование, воздействие неионизирующих и ионизирующих излучений, а также холодной плазмы. Наиболее эффективны для снижения содержания микотоксинов в кормах тепловые методы (нагревание, экструдирование) и ионизирующие излучения (гамма-излучение, пучок электронов). Новый метод детоксикации кормов холодной плазмой является перспективным, но требует дополнительного исследования. Для наиболее полного удаления микотоксинов рационально сочетание различных физических методов, а именно очистки и сортировки на предварительном этапе, тепловой или лучевой обработки на завершающем. Но для применения физических методов в комбикормовой промышленности необходимо определение рациональных параметров их выполнения, а также установление оптимальных комбинаций различных методов для конкретных микотоксинов. Тематика снижения содержания микотоксинов в кормах физическими методами является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований.

Ключевые слова: корма, комбикорм, микотоксины, удаление микотоксинов, физический метод, сортировка, нагревание, экструдирование, облучение

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Брагинец С. В., Бахчевников О. Н. Физические методы снижения содержания микотоксинов в кормах и их применение в комбикормовой промышленности (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):32-46. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.32-46>

Поступила: 13.10.2020

Принята к публикации: 25.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Physical methods of mycotoxin content reduction in feeds and application of them in the compound feed industry (review)

© 2021. Sergey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov ✉

Agricultural Research Center Donskoy, Zernograd, Russian Federation

The review considers the problems of mycotoxin content reduction in feed using physical methods and application of these methods when producing compound feeds. The analysis of scientific publications on the topic under research has shown that physical methods of lowering mycotoxin content in feed are rather effective. These methods include cleaning and sorting of raw materials, grain husking, grain refining with removal of outer layers of grain, heating, extrusion, the effect of non-ionizing and ionizing radiation and cold plasma. Thermal methods (heating and extrusion) and ionizing radiation (gamma-radiation and electron beam) are most effective for a mycotoxin content reduction in feed. The new method of feed detoxication by cold plasma is perspective, but requires additional research. To make the removal of mycotoxins fully complete it is more efficient to combine different physical methods, namely cleaning and sorting at the preliminary stage and heating or irradiation at the final stage. But before applying physical methods into the compound feed industry the rational parameters of their execution should be determined and optimum combinations of different methods for certain mycotoxins should be specified. The subject area of mycotoxin content reduction in feed using physical methods is perspective, but requires carrying out additional research.

Keywords: feed, compound feed, mycotoxins, mycotoxin removal, physical method, sorting, heating, extrusion, irradiation

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

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

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

For citation: Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N. Physical methods of mycotoxin content reduction in feed and application of them in the compound feed industry (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):32-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.32-46>

Received: 13.10.2020

Accepted for publication: 25.01.2021

Published online: 22.02.2021

Проблема контаминации кормов микотоксинами. В настоящее время высокое содержание микотоксинов в кормах является актуальной проблемой [1, 2]. Микотоксины – это вторичные метаболиты микроскопических грибов, опасные для человека и животных [3]. Их образуют токсигенные грибы родов *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Claviceps* и другие, которые способны поражать сельскохозяйственные растения во время роста, сбора урожая, транспортировки и хранения [4, 5]. К наиболее распространенным микотоксинам относят афлатоксины, ократоксин А, а также фузариотоксины (зеараленон, фумонизины, дезоксиниваленон и его ацетаты, ниваленон, Т-2 и НТ-2 токсины) [3, 4, 6, 7]. Недавно в серии публикаций российских исследователей обобщены данные микотоксикологического мониторинга, указывающие на высокий риск контаминации основных видов комбикормового сырья – фуражного зерна и продукции переработки семян масличных культур, а также полнорационных комбикормов [5, 8, 9, 10]. Таким образом, для комбикормовых предприятий обработка сырья растительного происхождения с целью снижения содержания в нем микотоксинов относится к числу наиболее приоритетных задач [11, 12, 13].

Методы снижения содержания микотоксинов. Методы, используемые для снижения содержания микотоксинов в кормах, основаны на их трансформации (преобразовании) в менее опасные вещества, либо в снижении биодоступности с помощью сорбентов [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Следует отметить, что в данном обзоре используется термин «снижение содержания микотоксинов», обозначающий их удаление и разрушение (деградацию). В англоязычной научной литературе ему соответствует универсальный термин «mycotoxins reduction» – редукция микотоксинов [12, 15, 17].

По виду воздействия методы снижения содержания микотоксинов подразделяют на физические (механические и термические воздействия, действие излучения), химические (обработка веществами, в том числе озоном, вступающими в химические реакции с микотоксинами), биологические (обработка живыми бактериальными культурами и ферментными препаратами) и сорбционные (с использованием разнообразных связывающих неорганических и органических агентов) [12, 18].

В последнее время в комбикормовой промышленности, особенно отечественной, основными методами снижения содержания микотоксинов стали химический и сорбционный [11, 17]. Химические технологии являются достаточно сложными и дорогостоящими, а, кроме того, еще и опасными для работников предприятий и потребителей кормов [1]. Опыт же применения сорбентов показал, что, помимо токсинов, они могут связывать и ценные компоненты корма, например витамины и микроэлементы [15]. Кроме того, сорбенты эффективно связывают не все микотоксины [15, 16, 19].

В то же время изучение научной литературы показало, что в последнее время снова возрос интерес к физическим методам снижения содержания микотоксинов в кормах и технологиям их применения в комбикормовой промышленности [11, 12]. Это обусловило необходимость проведения систематического обзора и критического анализа научных публикаций, посвященных физическим методам детоксикации кормов. К сожалению, в научных публикациях на русском языке этому вопросу уделено все еще недостаточно внимания. Основная доля публикаций отечественных ученых посвящена использованию для снижения содержания микотоксинов различных сорбентов, а статей с результатами исследований физических методов немного. Именно поэтому основная часть цитируемых в данном обзоре публикаций принадлежит иностранным авторам.

Цель исследования – обобщение и анализ научных публикаций, посвященных физическим методам снижения содержания микотоксинов в кормах, уточнение информации о рациональных параметрах их осуществления в комбикормовой промышленности и влиянии на качество кормов.

Материал и методы. Выбор и систематический обзор научных публикаций по теме исследования выполнен по методике R. J. Torgasco [20] и С. Okoli [21]. Для отбора научных статей на английском языке провели поиск по ключевым словам в библиографических базах «Google Scholar» и «Scopus», статей на русском языке – по ключевым словам в библиографической базе «Google Scholar» и «Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU». Дополнительно провели обзор научных журналов по данной тематике. Также были изуче-

ны пристатейные списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных статей. Поиск публикаций осуществляли по следующим ключевым словам: *mycotoxins* (микотоксины), *mycotoxins reduction* (снижение содержания микотоксинов), *removal of mycotoxins* (удаление микотоксинов). Также в комбинации с предыдущими терминами для поиска были использованы следующие ключевые слова: *feed* (корм), *physical method* (физический метод), *thermal processes* (тепловые процессы), *extrusion* (экструдирование), *irradiation* (облучение). В качестве временных рамок для обзора научных статей был выбран интервал 2000-2020 гг. Более ранние научные публикации обобщались лишь при отсутствии новейших сведений по конкретному аспекту изучаемой темы.

Основная часть. 1. Очистка и сортировка сырья. Зерно, пораженное грибами, отличается от качественного по цвету, плотности и массе, поэтому возможна его сортировка различными способами [17, 21, 22]. Наиболее распространена влажная сепарация (флотация), основанная на всплывании в жидкости более легких зерен, которые, как показывают исследования, имеют малый вес из-за значительного поражения грибами и содержат больше микотоксинов [12, 18]. Кроме того, как считают W.-X. Peng и соавторы, вода частично смывает микромицеты и микотоксины с поверхности зерен [12].

Опубликовано несколько статей, посвященных изучению влияния водной флотации на уменьшение содержания микотоксинов в зерне. A. Visconti и соавторы сообщают о снижении содержания дезоксиниваленола в зерне пшеницы на 23 % в результате применения этого метода [23]. L. Matumba и соавторы установили, что эффект от сортировки водной флотацией зерен кукурузы составлял от 27 до 70 % для различных микотоксинов (снижение содержания фумонизина В₁ составило 27 %, афлатоксина В₁ – 36 %, дезоксиниваленола – 40 %, ацетилдезоксиниваленола – 70 %) [24]. Простое промывание зерен водой без их сортировки является малоэффективным для удаления микотоксинов, их содержание снижается лишь на 10-20 % [12].

Результаты опытов L. Van der Westhuizen и соавторов по ручной сортировке зерна кукурузы по цвету показали эффективность и принципиальную возможность применения

такого метода для снижения содержания фумонизина В₁ [25].

Механическая гравитационная и воздушная сепарация также может быть использована для удаления пораженного микотоксинами зерна. На комбикормовых заводах механизированная очистка и сортировка зерна выполняется последовательно несколькими машинами, в частности барабанными, гравитационными и воздушными сепараторами. Механическая сортировка основана на более низкой плотности потенциально зараженного зерна [11, 12].

Несколько ученых изучали влияние механической сепарации зерна в промышленных машинах на содержание микотоксинов. C. S. Tibola и соавторы установили, что механическая сортировка (воздушный и гравитационный сепараторы) обеспечила уменьшение содержания дезоксиниваленола в зерне пшеницы на 74,7-88,9 %, причем степень снижения была неодинаковой для разных ее сортов [26]. Но при этом было отсортировано для удаления 33 % зерна (по массе). C. Schwake-Anduschus и соавторы установили, что очистка зерна овса воздушным сепаратором приводила к снижению содержания Т-2 и НТ-2 токсинов, но сопровождалась широкой вариацией этого показателя от 2,3 до 100 % (в среднем – 45-48 %), которую они объяснили различиями сортов и мест произрастания [27]. K. Lancova и соавторы сообщают почти о полном удалении ниваленола, а также Т-2 и НТ-2 токсинов в результате просеивания и шлифовки зерна пшеницы [28].

Традиционные методы очистки и сортировки зерна, однако, не подходят для применения на крупных предприятиях с целью снижения содержания микотоксинов в сырье по причине низкой эффективности и высоких затрат [11]. Тем не менее, по мнению W.-X. Peng и соавторов, весьма перспективной можно считать сепарацию по технологии оптического распознавания образов, которая может стать экономически выгодной для промышленного применения уже в ближайшем будущем [12].

Таким образом, предварительная очистка и сортировка зерна позволяет несколько снизить содержание микотоксинов, хотя и не является достаточной. Эффективность этого метода может быть значительно повышена после широкого внедрения в промышленности оптических сепараторов.

2. *Шелушение зерна.* При подготовке пленчатых зерновых культур (овес, ячмень, просо) к введению в состав комбикормов применяют технологическую операцию шелушения, заключающуюся в отделении поверхностных слоев зерен. Выполнение этой операции может привести к удалению вместе с поверхностным слоем и загрязнений, включая грибы и микотоксины [29]. Опубли-

ковано несколько статей, посвященных влиянию шелушения на детоксикацию зернового сырья [29, 30, 31]. Их авторы установили, что существует взаимосвязь между продолжительностью обработки и содержанием микотоксинов: увеличение длительности процедуры приводит к более значительному уменьшению содержания микотоксинов, в частности дезоксиниваленола (табл. 1) [29, 31].

Таблица 1 – Влияние продолжительности шелушения на снижение содержания дезоксиниваленола и потерю массы зерна /

Table 1 – The effect of husking time on deoxynivalenol content reduction and grain mass loss

Исследователь / Researcher	Культура / Crop	Продолжительность шелушения / Husking time	Уменьшение содержания дезоксиниваленола, % / Deoxynivalenol reduction, %	Потеря массы, % / Mass loss, %
G. Rios et al., 2009 [29]	Твердая пшеница / Durum Wheat	5 мин / 5 min	45	10
		10 мин / 10 min	60	20
		30 мин / 30 min	70	35
J. D. House et al., 2003 [31]	Ячмень / Barley	15 с / 15 s	66	15
		45 с / 45 s	82	26
		90 с / 90 s	90	40

При этом, как установили G. Rios и соавторы, начальное содержание дезоксиниваленола (382 и 4203 мкг/кг) в зерне практически не влияет на степень его последующего удаления в ходе обработки [29].

Метод детоксикации шелушением может применяться в комбикормовой промыш-

ленности при подготовке пленчатых зерновых культур. Его недостатком является то, что при увеличении продолжительности обработки шелушением вместе с уменьшением содержания микотоксинов возрастает потеря массы зерен (рис. 1), что увеличивает их расход и повышает себестоимость продукции [12, 29].

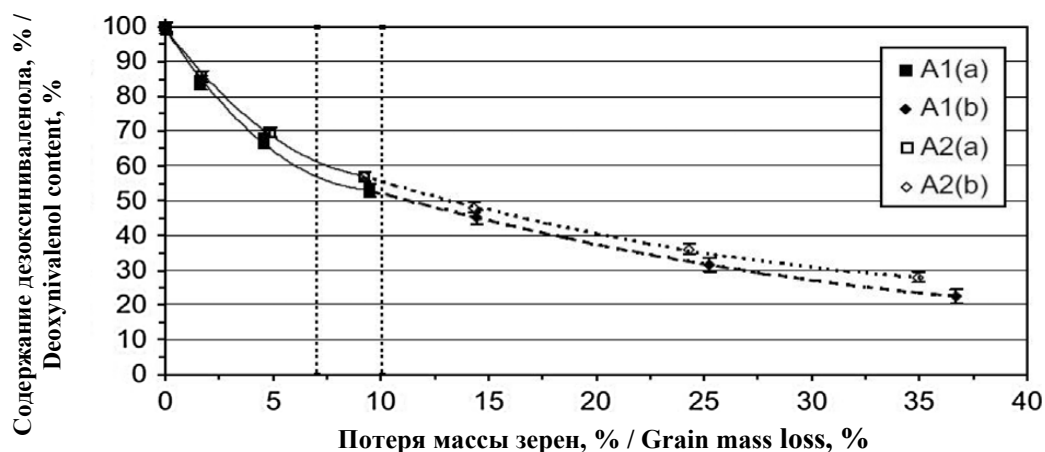


Рис. 1. Взаимосвязь между потерей массы зерен и снижением содержания дезоксиниваленола в зернах твердой пшеницы при шелушении (G. Rios et al., 2009): A1 – образец с начальной концентрацией дезоксиниваленола 382 мкг/кг; A2 – образец с начальной концентрацией дезоксиниваленола 4203 мкг/кг; а – зона быстрого уменьшения содержания дезоксиниваленола; б – зона медленного уменьшения содержания дезоксиниваленола /

Fig. 1. Relationship between the grain mass loss and reduction of deoxynivalenol content in durum wheat grain during husking (G. Rios et al., 2009): A1 – sample with initial deoxynivalenol concentration of 382 mcg/kg; A2 – sample with initial deoxynivalenol concentration of 4203 mcg/kg; a – zone of sharp decrease of the deoxynivalenol content; b – zone of slower decrease of the deoxynivalenol content

3. *Измельчение сырья.* В комбикормовой промышленности широко применяется технологическая операция измельчения сырья, в частности фуражного зерна. Обычное измельчение зерна, приводящее к его разделению на мелкие частицы и их перемешиванию, может лишь перераспределить содержащиеся в нем микотоксины, не влияя на их общее содержание. Логично предположить, что снизить содержание микотоксинов в зерне может измельчение, сопровождающееся удалением наружных наиболее пораженных слоев (отрубей), в результате чего в состав корма будут включены внутренние наименее пораженные части зерновок [32]. В то же время для зерна с высокой степенью контаминации характерно поражение микромицетами и его эндосперма. Тем не менее результаты исследований показали, что отделение отрубей уменьшает содержание микотоксинов, в частности дезоксиниваленола, в размолотом зерне [23, 28]. Так, G. Rios с соавторами сообщает о снижении содержания дезоксиниваленола в пшенице после размола и отделения отрубей на 78,4 % [33]. По данным С. S. Tibola и соавторов, содержание дезоксиниваленола и зеараленона в размолотой пшенице уменьшалось от 10 до 42 % к первоначальному уровню в зависимости от степени их начального содержания, в то время как в отрубях увеличивалось по отношению к концентрации в цельном зерне [34].

На основании изложенного можно сделать вывод, что измельчение зернового сырья с отделением отрубей позволяет снизить содержание микотоксинов, в частности дезоксиниваленола. Но этот физический метод применим лишь в пищевой промышленности, тогда как для комбикормовой отделение отрубей и их направление в отходы неприемлемо, так как увеличивает себестоимость кормов и удаляет из их состава ценные питательные вещества.

4. *Нагревание.* Известно, что микотоксины устойчивы к действию высоких температур [15]. В. Кабак установил, что температура разрушения афлатоксина В₁ составляет 268 °С, охратоксина А – 169 °С, фумонизина В₁ – 120 °С, дезоксиниваленола – 153 °С, зеараленона – 155 °С [35]. Тем не менее результаты некоторых исследований свидетельствуют о том, что содержание микотоксинов в кормовом сырье может быть снижено при высокотемпературной сушке [12]. В. Е. Yumbe-Guevara с соавторами установили, что снижение содержания микотоксинов при нагревании фуражного зерна зависит от температуры, продолжительности воздействия и степени

измельчения [36]. Они выяснили, что разрушение микотоксинов пропорционально возрастает при увеличении продолжительности обработки и температуры. Наиболее быстрое разрушение дезоксиниваленола, зеараленона, ниваленола наблюдалось при температуре 200-220 °С, тогда как при температуре 140-180 °С скорость разрушения была небольшой. При этом деструкция микотоксинов при нагревании была более значительной для измельченных зерен ячменя, чем для целых. Так, при нагреве измельченных зерен ячменя при температуре 220 °С в течение 50 мин было достигнуто полное разрушение дезоксиниваленола и зеараленона, тогда как в целых зернах содержание этих микотоксинов после обработки в течение 50 мин составило около 50 % от первоначального (рис. 2).

5. *Обработка перегретым паром.* Обработка сырья перегретым паром часто применяется в пищевой и комбикормовой промышленности. С. Pronyk с соавторами изучили влияние обработки зерна пшеницы перегретым паром (110-185 °С) на содержание в нем дезоксиниваленола [37]. Они установили, что, помимо температуры и продолжительности воздействия, значительное влияние на разрушение микотоксина оказывает скорость движения струи пара. Наибольший эффект разрушения дезоксиниваленола до 50 % был достигнут при обработке зерна струей пара со скоростью 1,3 м/с при температуре 185 °С и продолжительности 6 мин. Эти результаты были подтверждены в исследовании Y. Liu и соавторов [38]. В то же время влияние обработки перегретым паром на содержание других микотоксинов остается неизученным.

6. *Экструдирование.* Экструдирование разных видов сырья и его смесей является одним из самых распространенных технологических процессов в пищевой и комбикормовой промышленности. Было опубликовано много статей, посвященных влиянию этого процесса на снижение содержания микотоксинов [39]. Экструзия сочетает в себе эффекты описанных выше физических методов нагревания и обработки перегретым паром [12, 40]. Температура более 160 °С при экструзии вызывает значительную деградацию афлатоксинов [41], но в то же время негативно влияет на качество и содержание протеина [42]. На основе изучения научных публикаций можно сделать вывод, что экструзионная обработка приводит к значительному разрушению микотоксинов при условии достижения критических для них температур (табл. 2) [35].

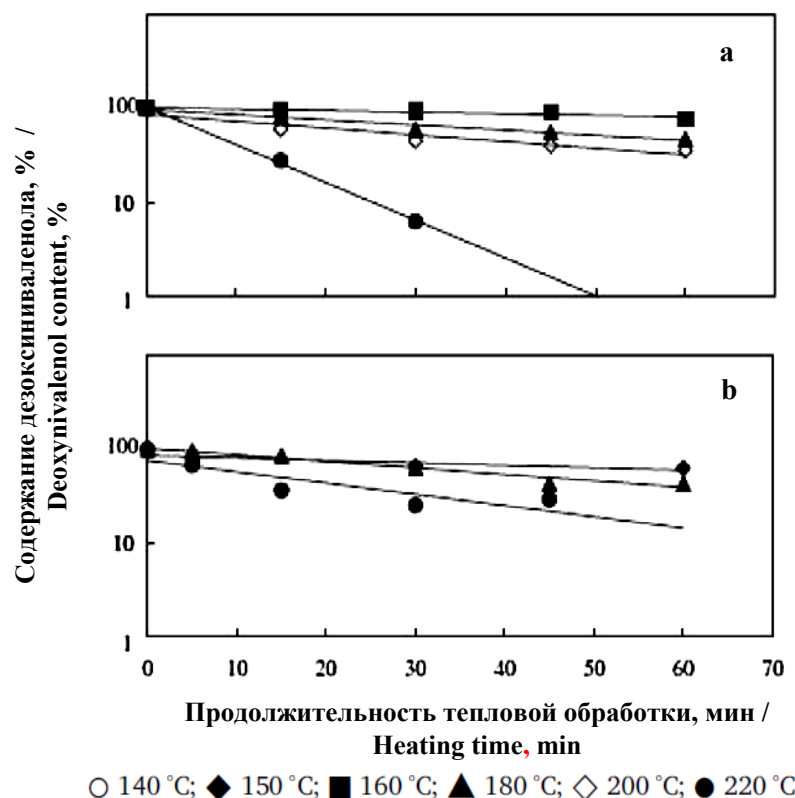


Рис. 2. Влияние температуры и продолжительности тепловой обработки на содержание дезоксиниваленола в зерне ячменя (В. Е. Yumbe-Guevara et al., 2003): а – измельченные зерна; б – целые зерна / Fig. 2. The effect of temperature and heating time on deoxynivalenol content in barley (В. Е. Yumbe-Guevara et al., 2003): а – barley powder; б – barley grains

Таблица 2 – Снижение содержания микотоксинов в сырье в результате экструдирования / Table 2 – Mycotoxin content reduction in raw materials as a result of extrusion process

Исследователь / Researcher	Сырье / Raw material	Температура, °C / Tempera- ture, °C	Микотоксин / Mycotoxin	Уменьшение содержа- ния микотоксина, % / Mycotoxin reduction, %
Elias-Orozco R. et al. [43]	Измельченная кукуруза / Maize flour	140	Афлатоксины В ₁ и М ₁ / Aflatoxins В ₁ & М ₁	45
Cazzaniga D. et al. [44]	Измельченная пшеница / Wheat flour	180	Дезоксиниваленол / Deoxynivalenol	95,0-99,5
		180	Афлатоксин В ₁ / Aflatoxin В ₁	10-25
Castells M. et al. [45]	Измельченный ячмень / Barley flour	140	Охратоксин А / Ochratoxin A	83,5
		160		80,5
		180		86,5
Pleadin J. et al. [46]	Зерна пшеницы / Wheat grains	150	Зеараленон / Zearalenone	48
		170		53
		190		67
		150	Дезоксиниваленол / Deoxynivalenol	51
		170		61
		190		71
Pleadin J. et al. [46]	Зерна ячменя / Barley grains	150	Зеараленон / Zearalenone	58
		170		69
		190		100
		150	Дезоксиниваленол / Deoxynivalenol	73
		170		80
		190		87

На основе приведенных в таблице 2 данных можно сделать вывод о том, что повышение температуры при экструзии увеличивает степень разрушения микотоксинов. Помимо температуры, важное значение имеют такие параметры, как исходная влажность сырья и частота вращения шнека экструдера. Влияние этих параметров экструдирования на снижение содержания микотоксинов подробно рассмотрено в статье М. Castells и соавторов [45]. При изучении ими изменения содержания охратоксина А в измельченном ячмене в результате экструдирования было установлено, что при постоянной температуре более значительное снижение содержания этого микотоксина наблюдается при меньшей частоте вращения шнека, что объясняется большей продолжительностью тепловой обработки сырья. При температуре экструзии 160 °C снижение частоты вращения шнека со 100 до 50 мин⁻¹ привело к увеличению разрушения охратоксина А с 66,5 до 80,5 %. Влияние влажности сырья на изменение содержания этого микотоксина оказалось не столь значительным. Так, при температуре экструзии 160 °C изменение влажности с 30 до 24 % привело к увеличению деградации охратоксина А на 5 %. Следует особо отметить мнение, высказанное К. М. Schaich, о том, что образующиеся при экструзии растительного сырья свободные радикалы также способствуют разрушению микотоксинов, усиливая воздействие высокой температуры [47].

7. Облучение. Технологии обработки сырья ионизирующим и неионизирующим излучениями с высокой эффективностью применяются в пищевой и комбикормовой промышленности для уничтожения патогенных микроорганизмов [12, 48]. Все виды длинноволнового неионизирующего излучения – инфракрасное, сверхвысокочастотное (СВЧ) и радиоизлучение – не обладают энергией, достаточной для ионизации атомов. Коротковолновое ионизирующее излучение (гамма-излучение и рентгеновские лучи) обладает высокой энергией, достаточной для ионизации атомов. Так как источником такого излучения являются радиоактивные элементы, его применение законодательно ограничено [12]. Тем не менее в ЕС разрешено применение гамма- и рентгеновского излучения для обеззараживания сырья в пищевой и комбикормовой промышленности при соблюдении норм безопасности [49, 50]. Для создания потока

гамма-излучения в промышленности используют радиоактивный изотоп кобальта ⁶⁰Со.

Главными процессами, вызывающими сокращение содержания микотоксинов при воздействии излучений, являются нагревание и гидролиз [12]. Эффект нагревания сырья обеспечивается высокой мощностью и большой длительностью облучения, что и определяет его эффективность [12, 48]. Согласно результатам исследования S. Herzallah и соавторов, неионизирующее излучение (СВЧ и солнечный свет) при кратковременном воздействии (5-10 мин) на комбикорм для птиц показало меньшую эффективность для снижения содержания афлатоксинов, чем гамма-излучение [48]. В то же время длительное воздействие (3-30 ч) солнечных лучей на корм обеспечило деградацию до 75 % афлатоксинов, тогда как краткосрочное действие гамма-излучения привело к деградации лишь 37 % токсинов, а СВЧ-излучения – 33 %.

Однако результаты исследования I. Ghapet и соавторов показали высокую эффективность именно гамма-излучения для разрушения афлатоксина В₁ [51]. По их данным, эффективность гамма-излучения повышалась с увеличением его дозы. Так, при увеличении дозы поглощенного излучения с 4 до 10 кГр (килогрей) разрушение этого микотоксина в зерне пшеницы повысилось с 31 до 84 %, а воздействие гамма-излучения дозой 10 кГр вызвало деградацию афлатоксина В₁ в пшеничных отрубях – на 86 %, зернах ячменя – 90 %, арахисе – 58 %.

Л. Не и соавторы установили, что облучение сырья вызывает протекание в нем гидролиза, что приводит к образованию свободных радикалов, усиливающих редукцию микотоксинов, в частности Т-2 и НТ-2 токсинов, при этом процесс более эффективно происходит при увлажнении сырья [52]. По данным К. О'Neill и соавторов, дезоксиниваленол в сухих зернах кукурузы имеет высокую стабильность даже при значительной дозе гамма-излучения в 50 кГр, в то время как увлажнение сырья позволило добиться снижения содержания этого микотоксина при малой дозе излучения 5 кГр [53] (рис. 3).

Т. Stepanik и соавторы определили, что облучение направленным пучком электронов с целью деградации дезоксиниваленола значительно эффективнее для увлажненных зерен кукурузы, чем для сухих [54].

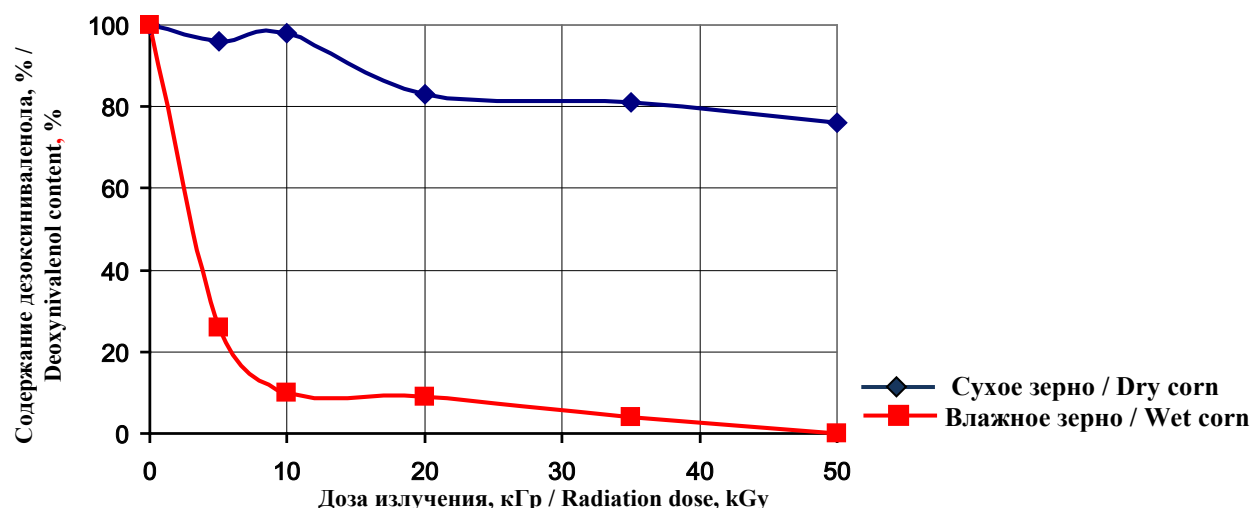


Рис. 3. Разрушение дезоксиниваленола гамма-излучением в сухих и увлажненных зернах кукурузы (O'Neill et al., 1993) /

Fig 3. Destruction of deoxynivalenol by gamma irradiation in dry and wet maize corn (O'Neill et al., 1993)

Несмотря на необходимость дополнительных расходов на обеспечение строгих норм безопасности и обеспокоенность последствиями облучения, обработка пищевого и кормового сырья ионизирующими излучениями, в частности гамма-излучением, находит все большее применение в комбикормовой и пищевой промышленности [55, 56].

А. Mehrez и соавторы изучили действие гамма-излучения на содержание охратоксина А в зерне пшеницы и пришли к тем же выводам, что и К. О'Neill и соавторы [53], а именно о высокой стабильности этого микотоксина в сухом зерне и эффективности облучения увлажненного зерна с целью разрушения токсина [57]. Т. Calado и соавторы в результате изучения деградации охратоксина А в измельченных зернах пшеницы под действием гамма-излучения установили, что во влажном сырье содержание токсина уменьшилось на 98 % при дозе 8,6 кГр [58].

Х. Ф. Мамедов установил, что гамма-излучение дозой 10 кГр обеспечивает детоксикацию комбикормов, загрязненных афлатоксином В₁ и охратоксином А [59]. Изучая действие гамма-излучения на содержащиеся в фуражном зерне микотоксины (зеараленон, афлатоксин В₁ и охратоксин А), Х. Ф. Мамедов установил, что скорость разрушения микотоксинов увеличивается по мере увеличения влажности зерен [60]. При их увлажнении до 26 % излучение дозой 25 кГр обеспечивало полное разрушение микотоксинов, в то время как для сухого зерна с влажностью 4 % та же

доза излучения вызвала снижение их содержания лишь на 65-75 %.

В последние годы получены данные по влиянию электронно-лучевой обработки (electron-beam processing), т. е. воздействия остросфокусированного пучка электронов (рис. 4), на деградацию микотоксинов [61, 62].

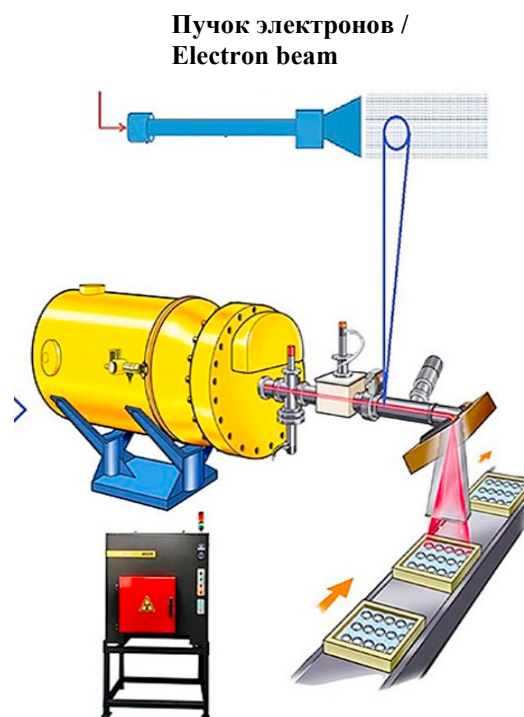


Рис. 4. Электронно-лучевая обработка сырья (А. М. Khaneghah et al., 2020) /

Fig 4. Electron-beam processing of raw materials (А. М. Khaneghah et al., 2020)

А. М. Khaneghah и соавторы установили эффективность для деградации микотоксинов электронного излучения дозой до 30 кГр [62]. Х. Luo и соавторы определили, что при воздействии пучка электронов на зерна пшеницы основное влияние на деградацию микотоксинов оказывает не доза излучения, а влажность сырья [63]. Так, увеличение дозы излучения с 10 до 50 кГр при постоянной влажности привело к повышению деградации охратоксина А и зеараленона лишь на 5-6 %, увеличение влажности сырья с 12 до 17 % при той же дозе излучения повысило деградацию в среднем на 30 % [63].

Наряду с ионизирующими излучениями, продолжается изучение эффективности широко используемых неионизирующих излучений, а именно микроволнового и ультрафиолетового [64]. Действие ультрафиолетового излучения является экономичным способом детоксикации сырья [12, 64]. М. М. Atalla и соавторы сообщают, что афлатоксин В₁ в зерне пшеницы был полностью разрушен после получасовой обработки ультрафиолетовым излучением с длиной волны 254 нм [65]. Другие исследователи также подтверждают эффективность деградации микотоксинов в различном сырье под действием ультрафиолетовых лучей [66, 67]. F. Jubeen и соавторы установили, что действие УФ-излучения на лесные орехи и арахис в течение 45 мин привело к снижению содержания суммы афлатоксинов на 96,5 % [66]. По сообщению S. Herzallah и соавторов, в результате действия солнечного излучения, частью которого является ультрафиолетовое, в течение 3 ч на комбикорм для птиц степень

разрушения афлатоксинов составила 40 %, а в течение 30 ч – 75 % [48]. Однако следует отметить, что промышленное применение ультрафиолетового излучения ограничено тем, что обрабатываемое сырье должно размещаться достаточно тонким слоем, что снижает производительность.

Микроволновое СВЧ-излучение, по мнению ряда зарубежных исследователей, является малоэффективным для снижения содержания микотоксинов [64, 68]. По данным E. Numanoglu и соавторов, содержание дезоксиниваленола после СВЧ-обработки при температуре 175 °С снизилось лишь на 40 % [69]. Сходные результаты получены и российскими исследователями. Г. Г. Юсупова сообщает, что действие на зерна пшеницы СВЧ-излучения мощностью 600 Вт и продолжительностью 90 с привело лишь к частичному разрушению афлатоксинов В₁ и В₂ [70]. Опыты Т. А. Толмачевой подтвердили эти результаты [71]. О. М. Соболева и соавторы при изучении действия СВЧ-излучения на микотоксины, содержащиеся в фуражном зерне и комбикорме, установили, что при мощности 600 Вт и частоте 915 МГц с экспозицией 90 с наблюдалось снижение содержания охратоксина А в комбикорме на 23,26 %, Т-2 токсина в комбикорме – на 38,77 %, а в зерне пшеницы – на 23,53 % [72]. Таким образом, СВЧ-излучение является недостаточно эффективным способом для снижения содержания микотоксинов.

8. *Холодная плазма.* Новым физическим методом снижения содержания микотоксинов является обработка сырья холодной (низкотемпературной) плазмой [64, 73, 74] (рис. 5).

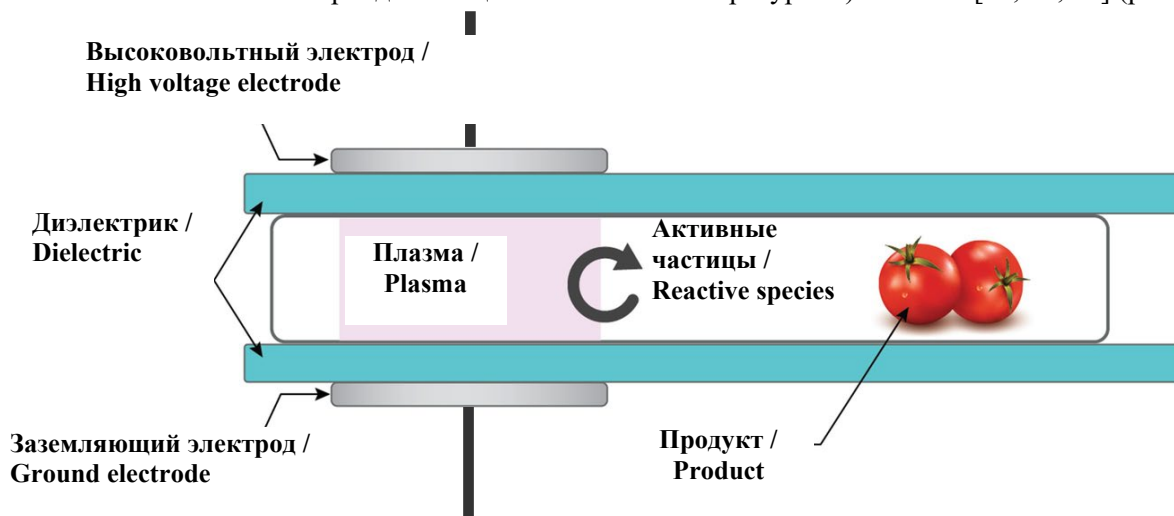


Рис. 5. Обработка сырья холодной плазмой (Annor G. A., 2019) /

Fig 5. Cold plasma processing of raw materials (Annor G. A., 2019)

Холодная плазма представляет собой ионизированный мощным электрическим полем газ (чаще всего аргон или воздух) с температурой 20-40 °C. Результаты немногочисленных пока исследований показали, что холодная плазма эффективна для разрушения микотоксинов, в частности зеараленона и дезоксиниваленола [64]. L. Ten Bosch с соавторами изучил действие холодной плазмы на основе воздуха при атмосферном давлении и установил, что под ее воздействием происходит деградация многих микотоксинов, в том числе зеараленона, дезоксиниваленола, фумонизина B₁, T-2 токсина [75].

S. A. Ouf и соавторы показали, что при обработке плодов пальмы холодной плазмой на основе аргона под давлением вдвое больше атмосферного в течение 9 мин были полностью уничтожены споры грибов *Aspergillus niger* и разрушены продуцируемые ими микотоксины, в частности афлатоксин B₁ [76]. Y. Devi с соавторами сообщили о снижении содержания афлатоксина B₁ на 95-96 % в арахисе под действием холодной воздушной плазмы [77]. Недавно группе исследователей (X. Wang и соавторы) удалось добиться полной деградации микотоксинов, продуцируемых грибами *Alternaria*, в результате обработки холодной плазмой на основе воздуха в течение 5 мин [78].

Таким образом, применение холодной плазмы является перспективным для снижения содержания микотоксинов, но необходимо проведение дополнительных исследований, направленных, в частности, на масштабирование этой технологии для внедрения на комбикормовых заводах.

Эффективность физических методов. Обзор научных статей показал, что существует ряд несоответствий в результатах экспериментов по снижению содержания микотоксинов в кормах. По нашему мнению, причиной этого являются различные условия проведения экспериментов, в частности разные типы используемых в них машин, а также наличие в сырье определенных примесей, например солей. Другим важным фактором, влияющим на эффективность обработки, является начальный уровень содержания микотоксинов, особенно для фуражного зерна [12, 34]. При небольшом уровне контаминации микотоксины сосредоточены на поверхности зерен или других частиц сырья, тогда как при значительном поражении грибами микотоксины прони-

кают и в глубинные слои, откуда их труднее удалить. Соответственно, при поверхностном загрязнении сырья удаление микотоксинов физическими методами наиболее эффективно.

Анализ научных работ показал, что предварительная сортировка сырья, особенно зернового, пригодна для уменьшения содержания микотоксинов, но ее необходимо сочетать с последующей обработкой одним из описанных выше физических методов. Помимо этого, для повышения эффективности сортировки целесообразно использовать компьютерное оптическое распознавание образов, хотя его применение пока сдерживает высокая стоимость оборудования.

Такие физические методы, как механическая очистка и шелушение зерна, а также измельчение с отделением поверхностных слоев зерен также весьма эффективны для снижения содержания микотоксинов в кормах. Однако происходящее в ходе их выполнения удаление значительной части сырья в отходы повышает себестоимость готовых кормов, и поэтому эти методы могут оказываться неприемлемыми для применения в комбикормовой промышленности.

Тепловые способы обработки сырья, а именно нагревание и экструдирование, как показали результаты многочисленных исследований, являются эффективными для деградации микотоксинов, но их применение оправданно лишь тогда, когда эти операции входят в технологический процесс производства кормов, в противном случае рациональна их замена на вариант с воздействием ионизирующего излучения.

Обработка сырья ионизирующими излучениями (гамма-излучение и направленный пучок электронов), согласно результатам последних исследований, является наиболее эффективной для снижения содержания микотоксинов. Но препятствием для применения этого метода является опасность радиоактивного поражения работников и необходимость принятия дорогостоящих мер безопасности. Обработка сырья неионизирующими излучениями является недостаточно эффективной для полного разрушения микотоксинов.

Новым перспективным методом детоксикации кормов является их обработка холодной плазмой, но этот метод еще недостаточно исследован, не разработаны приемы его масштабирования для использования на промышленных предприятиях.

В целом можно сделать вывод о том, что для наиболее полного удаления микотоксинов рационально сочетание различных физических методов, а именно очистки и сортировки сырья на предварительном этапе и тепловой (нагревание, экструзия) или лучевой (гамма-излучение, пучок электронов) обработки на завершающем этапе.

Заключение. Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что физические методы снижения содержания микотоксинов в кормах являются достаточно эффективными, но для обеспечения их широкого применения в комбикормовой промышленности требуются дополнительные исследования,

направленные на определение рациональных параметров их осуществления. Необходимо разработать технологические схемы, наиболее эффективные для удаления конкретных микотоксинов, и определить рациональные параметры их выполнения. Особенно важным является выявление оптимальных комбинаций различных физических методов для наиболее полной детоксикации кормов.

Авторы надеются, что данный обзор будет полезен российским ученым в качестве отправной точки для их научно-исследовательской работы по перспективной тематике снижения содержания микотоксинов в кормах физическими методами.

References

1. Haque M. A., Wang Y., Shen Z., Li X., Saleemi M. K., He C. Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review. *Microbial Pathogenesis*. 2020;142:104095. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104095>
2. Abdallah M. F., Girgin G., Baydar T. Occurrence, prevention and limitation of mycotoxins in feeds. *Animal Nutrition and Feed Technology*. 2015;15(3):471-490. DOI: <http://doi.org/10.5958/0974-181x.2015.00048.7>
3. Yang C., Song G., Lim W. Effects of mycotoxin-contaminated feed on farm animals. *Journal of Hazardous Materials*. 2020;389:122087. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122087>
4. Magnoli A. P., Poloni V. L., Cavaglieri L. Impact of mycotoxin contamination in the animal feed industry. *Current Opinion in Food Science*. 2019;29:99-108. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.08.009>
5. Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В. Микотоксикологический мониторинг. Сообщение 2. Зерно пшеницы, ячменя, овса, кукурузы. *Ветеринария сегодня*. 2020;2:139-145. DOI: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>
6. Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V. *Mikotoksikologicheskiy monitoring. Soobshchenie 2. Zerno pshenitsy, yachmenya, ovsa, kukuruzy*. [Mycotoxilogical monitoring. Part 2. Wheat, barley, oat and maize grain]. *Veterinariya segodnya* = Veterinary Science Today. 2020;2:139-145. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>
7. Bryden W. L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain. Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology*. 2012;173(1-2):134-158. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.014>
8. Richard J. L. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses – an overview. *International Journal of Food Microbiology*. 2007;119(1-2):3-10. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.019>
9. Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В. Микотоксикологический мониторинг. Сообщение 1. Полнорационные комбикорма для свиней и птицы (2009-2018 гг.). *Ветеринария сегодня*. 2020;(1):60-65. DOI: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-1-32-60-65>
10. Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V. *Mikotoksikologicheskiy monitoring. Soobshchenie 1. Polnoratsionnye kombikorma dlya sviney i ptitsy (2009-2018 gg.)*. [Mycotoxilogical monitoring. Part 1. Complete mixed feed for pigs and poultry (2009–2018)]. *Veterinariya segodnya* = Veterinary Science Today. 2020;(1):60-65. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-1-32-60-65>
11. Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В. Микотоксикологический мониторинг. Сообщение 3. Кормовая продукция от переработки зернового сырья. *Ветеринария сегодня*. 2020;(3):213-219. DOI: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-3-34-213-219>
12. Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V. *Mikotoksikologicheskiy monitoring. Soobshchenie 3. Kormovaya produktsiya ot pererabotki zernovogo syr'ya*. [Mycotoxilogical monitoring. Part 3. Feedstuffs from raw grain processing]. *Veterinariya segodnya* = Veterinary Science Today. 2020;(3):213-219. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-3-34-213-219>
13. Дробин Ю. Д., Солдатенко Н. А., Сухих Е. А., Коваленко А. В. Итоги мониторинга контаминации фуражного зерна пшеницы, ячменя и кукурузы на юге России. *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2015;4:27-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25020727>
14. Drobin Yu. D., Soldatenko N. A., Sukhikh E. A., Kovalenko A. V. *Itogi monitoringa kontaminatsii furazhnogo zerna pshenitsy, yachmenya i kukuruzy na yuge Rossii*. [Results of monitoring of contamination of wheat, barley and corn fodder grain on the south of Russia]. *Rossiyskiy zhurnal «Problemy veterinarnoy sanitarii, gigeny i ekologii»*

= The Russian journal «Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology». 2015;4:27-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25020727>

11. Čolović R., Puvača N., Cheli F., Avantaggiato G., Greco D., Duragić O., Kos J., Pinotti L. Decontamination of Mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed. *Toxins*. 2019;11(11):617.

DOI: <http://doi.org/10.3390/toxins11110617>

12. Peng W-X., Marchal J. L. M., van der Poel A. F. B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;237:129-153.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.017>

13. Oliveira M., Vasconcelos V. Occurrence of mycotoxins in fish feed and its effects – a review. *Toxins*. 2020;12(3):160. DOI: <http://doi.org/10.3390/toxins12030160>

14. Luo Y., Liu X., Li J. Updating techniques on controlling mycotoxins – A review. *Food Control*. 2018;89:123-132. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.016>

15. Jard G., Liboz T., Mathieu F., Guyonvarc'h A., Lebrihi A. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2011;28(11):1590-1609. DOI: <http://doi.org/10.1080/19440049.2011.595377>

16. Попова С. А., Скопцова Т. И., Лосякова Е. В. Микотоксины в кормах: причины, последствия, профилактика. *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;(1):16-23. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/17966566>

Porova S. A., Skoptsova T. I., Losyakova E. V. *Mikotoksiny v kormakh: prichiny, posledstviya, profilaktika*. [Mycotoxins in feeds: reasons, consequences, prevention]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017;(1):16-23. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/17966566>

17. Alberts J. F., Lilly M., Rheeder J. P., Burger H-M., Shephard G. S., Gelderblom W. C. A. Technological and community-based methods to reduce mycotoxin exposure. *Food Control*. 2017;73:101-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.029>

18. Kabak B., Dobson A. D. W., Var I. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2006;46(8):593-619.

DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390500436185>

19. Jouany J. P. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 2007;137(3-4):342-362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.009>

20. Torraco R. J. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human Resource Development Review*. 2016;15(4):404-428. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1534484316671606>

21. Okoli C. A guide to conducting a standalone systematic literature review. *Communications of the Association for Information Systems*. 2015;37:879-910. DOI: <http://dx.doi.org/10.17705/1cais.03743>

22. Afolabi C. G., Bandyopadhyay R., Leslie J. F., Ekpo E. J. A. Effect of sorting on incidence and occurrence of fumonisins and *Fusarium verticillioides* on maize from Nigeria. *Journal of Food Protection*. 2006;69(8):2019-2023. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.8.2019>

23. Visconti A., Haidukowski E. M., Pascale M., Silvestri M. Reduction of deoxynivalenol during durum wheat processing and spaghetti cooking. *Toxicology Letters*. 2004;153(1):181-189.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2004.04.032>

24. Matumba L., Van Poucke C., Ediage E. N., Jacobs B., De Saeger S. Effectiveness of hand sorting, flotation/washing, dehulling and combinations thereof on the decontamination of mycotoxin-contaminated white maize. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2015;32(6):960-969. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1029535>

25. Van der Westhuizen L., Shephard G. S., Rheeder J. P., Burger H. M., Gelderblom W. C. A., Wild C. P., Gong Y. Y. Optimising sorting and washing of home-grown maize to reduce fumonisin contamination under laboratory-controlled conditions. *Food Control*. 2011;22(3-4):396-400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.009>

26. Tibola C. S., Fernandes J. M. C., Guarienti E. M. Effect of cleaning, sorting and milling processes in wheat mycotoxin content. *Food Control*. 2016;60:174-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.031>

27. Schwake-Anduschus C., Langenkämper G., Unbehend G., Dietrich R., Märtilbauer E., Münzing K. Occurrence of *Fusarium* T-2 and HT-2 toxins in oats from cultivar studies in Germany and degradation of the toxins during grain cleaning treatment and food processing. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2010;27(9):1253-1260. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2010.487499>

28. Lancova K., Hajšlova J., Kostelanska M., Kohoutkova J., Nedelnik J., Moravcova H., Vanova M. Fate of trichothecene mycotoxins during the processing milling and baking. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2008;25(5):650-659. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030701660536>

29. Rios G., Pinson-Gadais L., Abecassis J., Zakhia-Rozis N., Lullien-Pellerin V. Assessment of dehulling efficiency to reduce deoxynivalenol and *Fusarium* level in durum wheat grains. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(3):387-392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.003>

30. Siwela A. H., Siwela M., Matindi G., Dube S., Nziramasanga N. Decontamination of aflatoxin-contaminated maize by dehulling. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005;85(15):2535-2538.

DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2288>

31. House J. D., Nyachoti C. M., Abramson D. Deoxynivalenol removal from barley intended as swine feed through the use of an abrasive pearling procedure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003;51(17):5172-5175. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf034244p>
32. Cheli F., Battaglia D., Gallo R., Dell'Orto V. EU legislation on cereal safety: an update with a focus on mycotoxins. *Food Control*. 2014;37:315-325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.09.059>
33. Rios G., Zakhia-Rozis N., Chaurand M., Richard-Forget F., Samson M. F., Abecassis J., Lullien-Pellerin V. Impact of durum wheat milling on deoxynivalenol distribution in the outcoming fractions. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2009;26(4):487-495. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030802382717>
34. Tibola C. S., Fernandes J. M. C., Guarienti E. M., Nicolau M. Distribution of *Fusarium* mycotoxins in wheat milling process. *Food Control*. 2015;53:91-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.012>
35. Kabak B. The fate of mycotoxins during thermal food processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009;89(4):549-554. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3491>
36. Yumbe-Guevara B. E., Imoto T., Yoshizawa T. Effects of heating procedures on deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone levels in naturally contaminated barley and wheat. *Food Additives & Contaminants*. 2003;20(12):1132-1140. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030310001620432>
37. Pronyk C., Cenkowski S., Abramson D. Superheated steam reduction of deoxynivalenol in naturally contaminated wheat kernels. *Food Control*. 2006;17(10):789-796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.05.004>
38. Liu Y., Li M., Bian K., Guan E., Liu Y., Lu Y. Reduction of deoxynivalenol in wheat with superheated steam and its effects on wheat quality. *Toxins*. 2019;11(7):414. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11070414>
39. Castells M., Marín S., Sanchis V., Ramos A. J. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review. *Food Additives & Contaminants*. 2005;22(2):150-157. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030500037969>
40. Bullerman L. B., Bianchini A. Stability of mycotoxins during food processing. *International Journal of Food Microbiology*. 2007;119(1-2):140-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.035>
41. Castells M., Marín S., Sanchis V., Ramos A. J. Reduction of aflatoxins by extrusion-cooking of rice meal. *Journal of Food Science*. 2006;71(7):369-377. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00122.x>
42. 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>
43. Elias-Orozco R., Castellanos-Nava A., Gaytan-Martinez M., Figueroa-Cardenas J. D., Loarca-Pina G. Comparison of nixtamalization and extrusion processes for a reduction in aflatoxin content. *Food Additives & Contaminants*. 2002;19(9):878-885. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030210145054>
44. Cazzaniga D., Basilio J. C., Gonzalez R. J., Torres R. L., de Greef D. M. Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour. *Letters in Applied Microbiology*. 2001;33(2):144-147. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.2001.00968.x>
45. Castells M., Pardo E., Ramos A. J., Sanchis V., Marín S. Reduction of ochratoxin A in extruded barley meal. *Journal of Food Protection*. 2006;69(5):1139-1143. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.5.1139>
46. Pleadin J., Kudumija N., Šubarić D., Lolić M., Škrivanko M., Tkalec V. J., Kiš M., Aladić K., Vulić A., Babić J. The effect of thermal processing on the reduction of deoxynivalenol and zearalenone cereal content. *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2019;11(1):44-51. DOI: <https://doi.org/10.17508/cjfst.2019.11.1.06>
47. Schaich K. M. Free radical generation during extrusion: a critical contributor to texturization. *ACS Symposium Series*. 2002;807:35-48. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2002-0807.ch003>
48. Herzallah S., Alshawabkeh K., Al Fataftah A. Aflatoxin decontamination of artificially contaminated feeds by sunlight, γ -radiation, and microwave heating. *Journal of Applied Poultry Research*. 2008;17(4):515-521. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00107>
49. Directive 1999/2/EC of The European Parliament and of the Council: on the approximation of the laws of the Member States concerning foods and food ingredients treated with ionising radiation. *Official Journal of the European Communities*. 1999;16-22. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0002>
50. Directive 1999/3/EC of The European Parliament and of the Council: on the establishment of a Community list of foods and food ingredients treated with ionising radiation. *Official Journal of the European Communities*. 1999;16-22. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0003>
51. Ghanem I., Orfi M., Shamma M. Effect of gamma radiation on the inactivation of aflatoxin B₁ in food and feed crops. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2008;39(4):787-791. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1517-83822008000400035>
52. He J., Zhou T., Young J. C., Boland G. J., Scott P. M. Chemical and biological transformations for detoxification of trichothecene mycotoxins in human and animal food chains: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2010;21(2):67-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.08.002>
53. O'Neill K., Damoglou A. P., Patterson M. F. The stability of deoxynivalenol and 3-acetyl deoxynivalenol to gamma irradiation. *Food Additives & Contaminants*. 1993;10(2):209-215. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652039309374143>
54. Stepanik T., Kost D., Nowicki T., Gaba D. Effects of electron beam irradiation on deoxynivalenol levels in distillers dried grain and solubles and in production intermediates. *Food Additives & Contaminants*. 2007;24(9):1001-1006. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030701329629>

55. Calado T., Venancio A., Abrunhosa L. Irradiation for mold and mycotoxin control: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2014;13(5):1049-1061. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12095>
56. Pankaj S. K., Shi H., Keener K. M. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;71:73-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.007>
57. Mehrez A., Maatouk I., Romero-González R., Amara A. B., Kraiem M., Frenich A. G., Landoulsi A. Assessment of ochratoxin A stability following gamma irradiation: experimental approaches for feed detoxification perspectives. *World Mycotoxin Journal*. 2016;9(2):289-298. DOI: <https://doi.org/10.3920/WMJ2013.1652>
58. Calado T., Fernández-Cruz M. L., Verde S. C., Venancio A., Abrunhosa L. Gamma irradiation effects on ochratoxin A: Degradation, cytotoxicity and application in food. *Food chemistry*. 2018;240:463-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.136>
59. Мамедов Х. Ф. Фотолитическая и радиолитическая детоксикация и стерилизация комбикормов, зараженные кишечными палочками и грибами *Aspergillus*. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2011;24(3):138-142. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25383259>
- Mamedov Kh. F. *Fotoliticheskaya i radioliticheskaya detoksikatsiya i sterilizatsiya kombikormov, zarazhennye kishechnymi palochkami i gribkami Aspergillus*. [Photolytic and radio lytic detoxication and sterilization of the mixed fodders, infectedwith escherichia coli and fungi aspergillus]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* = Scientific Notes of Taurida V. VernadskyNational University. Series: Biology, chemistry. 2011;24(3):138-142. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25383259>
60. Мамедов Х. Ф. Радиолитические процессы во влажных зернах кукурузы, пшеницы и ячменя. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2013;26(2):226-238. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25005403>
- Mamedov Kh. F. *Radioliticheskie protsessy vo vlazhnykh zernakh kukuruzy, pshenitsy i yachmenya*. [Radiolytic processes in damp corn, wheat and barley grains]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* = Scientific Notes of Taurida V. VernadskyNational University. Series: Biology, chemistry. 2013;26(2):226-238. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25005403>
61. Pillai S. D., Shayanfar S. Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry. In: *Applications of Radiation Chemistry in the Fields of Industry, Biotechnology and Environment*. Springer. 2017;375:249-268. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-54145-7_9
62. Khaneghah A. M., Moosavi M. H., Oliveira C. A., Vanin F., Sant'Ana A. S. Electron beam irradiation to reduce the mycotoxin and microbial contaminations of cereal-based products: An overview. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;143:111557. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111557>
63. Luo X., Qi L., Liu Y., Wang R., Yang D., Li K., Wang L., Li Y., Zhang Y., Chen Z. Effects of electron beam irradiation on zearalenone and ochratoxin A in naturally contaminated corn and corn quality parameters. *Toxins*. 2017;9(3):84. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins9030084>
64. Shanakhat H., Sorrentino A., Raiola A., Romano A., Masi P., Cavella S. Current methods for mycotoxins analysis and innovative strategies for their reduction in cereals: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018;98(11):4003-4013. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8933>
65. Atalla M. M., Hassanein N. M., El-Beih A. A., Youssef Y. A. Effect of fluorescent and UV light on mycotoxin production under different relative humidities in wheat grains. *ACTA Pharmaceutica Scientia*. 2004;46(3):205-222. URL: <http://www.actapharmsci.com/abstract.php?id=40>
66. Jubeen F., Bhatti I. A., Khan M. Z., Hassan Z. U., Shahid M. Effect of UVC irradiation on aflatoxins in ground nut (*Arachis hypogea*) and tree nuts (*Juglans regia*, *Prunus dulcis* and *Pistachio vera*). *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 2012;34(6):1366-1374. URL: <https://jcsp.org.pk/ArticleUpload/4443-20822-1-CE.pdf>
67. García-Cela E., Marin S., Sanchis V., Crespo-Sempere A., Ramos A. J. Effect of ultraviolet radiation A and B on growth and mycotoxin production by *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus parasiticus* in grape and pistachio media. *Fungal Biology*. 2015;119(1):67-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.11.004>
68. Vearasilp S., Thobunluepop P., Thanapornpoonpong S., Pawelzik E., von Hörsten D. Radio frequency heating on lipid peroxidation, decreasing oxidative stress and aflatoxin B₁ reduction in *Perilla frutescens* L. highland oil seed. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015;5:177-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.027>
69. Numanoglu E., Gökmen V., Uygun U., Koksel H. Thermal degradation of deoxynivalenol during maize bread baking. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2012;29(3):423-430. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.644812>
70. Юсупова Г. Г. Влияние СВЧ-энергии на микроскопические грибы и микотоксины. Вестник КрасГАУ. 2003;3:236-238. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41543548>
- Yusupova G. G. *Vliyanie SVCh-energii na mikroskopicheskie griby i mikotoksiny*. [Influence of microwave energy on microscopic fungi and mycotoxins]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2003;3:236-238. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41543548>

71. Толмачева Т. А. Афлатоксины, их влияние на продовольственное сырье и методы обеззараживания. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2013;1(2):40-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20936071>

Tolmacheva T. A. *Aflatoksiny, ikh vliyanie na prodovol'stvennoe syr'e i metody obezzarazhivaniya*. [Aflatoxins and their impact on food raw materials and disinfection methods]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudar-stvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* = Bulletin of South Ural State University, Series «Food and Biotechnology». 2013;1(2):40-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20936071>

72. Соболева О. М., Колосова М. М., Филипович Л. А. Электрофизический способ снижения количества микотоксинов в концентрированных кормах. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(4):64-66. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10416>

Soboleva O. M., Kolosova M. M., Filipovich L. A. *Elektrofizicheskiy sposob snizheniya kolichestva mikotoksinov v kontsentrirrovannykh kormakh*. [Electrophysical method of reducing the amount of mycotoxins in concentrated feed]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(4):64-66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10416>

73. Hojnik N., Cvelbar U., Tavčar-Kalcher G., Walsh J. L., Križaj I. Mycotoxin decontamination of food: cold atmospheric pressure plasma versus «classic» decontamination. *Toxins*. 2017;9(5):151. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins9050151>

74. Annor G. A. Cold plasma effects on the nutritional, textural and sensory characteristics of fruits and vegetables, meat, and dairy products. Effect of Emerging Processing Methods on the Food Quality. Springer, Cham. 2019;163-171. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-18191-8_7

75. Ten Bosch L., Pfohl K., Avramidis G., Wieneke S., Viöl W., Karlovsky P. Plasma-based degradation of mycotoxins produced by *Fusarium Aspergillus* and *Alternaria* species. *Toxins*. 2017;9(3):97. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins9030097>

76. Ouf S. A., Basher A. H., Mohamed A. A. Inhibitory effect of double atmospheric pressure argon cold plasma on spores and mycotoxin production of *Aspergillus niger* contaminating date palm fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015;95(15):3204-3210. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7060>

77. Devi Y., Thirumdas R., Sarangapani C., Deshmukh R. R., Annapure U. S. Influence of cold plasma on fungal growth and aflatoxins production on groundnuts. *Food Control*. 2017;77:187-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.019>

78. Wang X., Wang S., Yan Y., Wang W., Zhang L., Zong W. The degradation of *Alternaria* mycotoxins by dielectric barrier discharge cold plasma. *Food Control*. 2020;117:107333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107333>

Сведения об авторах

Брагинец Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: yniizk30@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

✉ **Бахчевников Олег Николаевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: yniizk30@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Information about the authors

Sergey V. Braginets, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: yniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

✉ **Oleg N. Bakhchevnikov**, PhD in Engineering, researcher, the Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: yniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.47-56>

УДК 633.321:631.526.32:631.559 (470.1)

Оценка семенной продуктивности сложногибридных популяций клевера лугового

© 2021. И. В. Шихова ✉, Е. В. Попова, Е. Г. Арзамасова

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

В условиях Кировской области изучена урожайность семян четырех сложногибридных популяций (СГП) клевера лугового, в том числе сформированных на инфекционном фузариозном фоне (СГПФ). Исследования проводили в питомнике оценки семенной продуктивности 2017 года посева в сравнении со стандартом (ст.) Дымковский за 2 года пользования (г. п.). Дана характеристика СГП и СГПФ по зимостойкости, наступлению вегетационных фаз развития, высоте растений, структуре семенного травостоя, урожайности и качеству семенного материала. Все изученные популяции были продуктивнее стандарта (1,97 ц/га). Достоверно высокая урожайность семян в среднем за 2 года отмечена у СГПФ-158-3 – 2,48 ц/га, СГП-188 – 2,32 ц/га, СГПФ-157-3 – 2,16 ц/га. По показателям плодородия в 2019 году выделена СГПФ-158-3 с головками небольшого размера, но при этом отличающимися наибольшим количеством цветков и семян (132,2 и 77,4 шт. соответственно), хорошей обсемененностью (58,8 %) и высокой массой семян с головки (0,153 г). Также высокие показатели были получены у популяций СГПФ-157-3 и СГПФ-160-3. Выявлена сильная корреляционная зависимость между урожайностью семян и показателями плодородия: количеством цветков в головке ($r = 0,92$); общим количеством семян в головке ($r = 0,92$); количеством выполненных семян в головке ($r = 0,94$); обсемененностью головки ($r = 0,90$); общей массой семян в головке ($r = 0,85$); массой выполненных семян в головке ($r = 0,87$). Отмечена тесная положительная корреляция между значением гидротермического коэффициента (ГТК) и длиной ($r = 0,86$), шириной ($r = 0,86$) головки клевера лугового в межфазный период «отрастание-начало цветения». Установлено, что средняя дневная температура воздуха и сумма эффективных температур в период «начало цветения-созревание» положительно влияют на показатели плодородия: «обсемененность головок» ($r = 0,97$ и $r = 0,87$) и «количество семян в головке» ($r = 0,95$ и $r = 0,89$ соответственно). В этот же межфазный период выявлена тесная отрицательная зависимость указанных показателей плодородия от значений ГТК ($r = -0,95$ и $r = -0,94$). Определяли посевные качества семян урожая 2019 года и установили, что весь семенной материал соответствует категории «оригинальные и элитные семена». В результате проведенных исследований выделили популяции клевера лугового СГПФ-158-3, СГП-188 и СГПФ-157-3, превосходящие ст. Дымковский по семенной продуктивности (на 0,51; 0,35 и 0,19 ц/га соответственно, $НСР_{05} = 0,12$ ц/га) и показателям плодородия.

Ключевые слова: урожайность семян, структура семенного травостоя, показатели плодородия, посевные качества, корреляционная связь

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0098).

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шихова И. В., Попова Е. В., Арзамасова Е. Г. Оценка семенной продуктивности сложногибридных популяций клевера лугового. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):47-56.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.47-56>

Поступила: 06.05.2020

Принята к публикации: 25.01.2021.

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Assessment of seed productivity of complex hybrid populations of red clover

© 2021. Irina V. Shikhova ✉, Evgenia V. Popova, Ekaterina G. Arzamasova

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

In the conditions of the Kirov region, the productivity of seeds of four complex hybrid populations (SGP) of red clover was studied, including those formed against an infectious fusarium background (SGPF). The research was carried out in the nursery for evaluating the seed productivity of 2017 sowing in comparison with the standard (st.) Dymkovsky for 2 years of use (y.u.). The characteristics of the SGP and SGPF according to winter hardiness, the start of vegetation phases of development, plant height, structure of seedgrass stand, yield and quality of seed material are given. All studied varieties were more productive

than the standard (1.97 c/ha). Reliably high seed yield on average for 2 years was shown by SGPF-158-3 – 2.48 c/ha, SGP-188 – 2.32 c/ha, SGPF-157-3 – 2.16 c/ha. According to fruiting indicators, in 2019 SGPF-158-3 with small heads, but with the largest number of flowers and seeds (132.2 and 77.4 pcs., respectively), good seediness (58.8 %) and high seed weight per head (0.153 g) was selected. Also, high rates were noted in the populations of SGPF-157-3 and SGPF-160-3. A strong correlation between seed yield and fruiting rates was revealed: the number of flowers in the head ($r = 0.92$), the total number of seeds in the head ($r = 0.92$), the number of filled seeds in the head ($r = 0.94$), the seediness of the head ($r = 0.90$), the total weight of seeds in the head ($r = 0.85$), the mass of filled seeds in the head ($r = 0.87$). A close positive correlation was noted between the hydrothermal coefficient (HTC) value and length ($r = 0.86$), width ($r = 0.86$) of the red clover head during the intergrowth period “regrowth - the beginning of flowering”. It has been established that the average daily air temperature and the sum of effective temperatures during the “beginning of flowering - ripening” period have a positive effect on the fruiting performance: “seediness of the heads” ($r = 0.97$ and $r = 0.87$) and “the number of seeds in the head” ($r = 0.95$ and $r = 0.89$, respectively). In the same interphase period, a close negative dependence of the indicated fruiting indices on the HTC values was revealed ($r = -0.95$ and $r = -0.94$). The sowing qualities of the seeds of the 2019 harvest were determined; it was found that all seed material corresponds to the category of “original and elite seeds”. As the result of the research, the populations of red clover SGPF-158-3, SGP-188 and SGPF-157-3, superior to st. Dymkovsky on seed productivity (by 0.51; 0.35 and 0.9 c/ha, respectively, $LSD_{05} = 0.12$ c/ha) and fruiting indicators, were selected.

Keywords: seed yield, seed grass stand structure, fruiting rates, sowing qualities, correlation relationship

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.0528-2019-0098).

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: Shikhova I. V., Popova E. V., Arzamasova E. G. Assessment of seed productivity of complex hybrid population of red clover. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):47-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.47-56>

Received: 06.05.2020

Accepted for publication: 25.01.2021

Published online: 22.02.2021

Нечерноземная зона России является одной из ведущих регионов по посеву многолетних бобовых трав, которые составляют основу системы земледелия [1, 2]. Лидирующие позиции в получении высокопитательных и недорогих кормов занимает клевер луговой [3]. Почвенно-климатические условия зоны позволяют успешно возделывать и получать высокие урожаи кормовой массы и семян клевера. Очень важным для эффективного возделывания клевера является обеспечение производства качественными селекционными сортами. При соблюдении технологии возделывания новых сортов возможно получать прибавку урожайности семян на 25-30 % [4, 5, 6]. Создаваемые сорта должны иметь высокую семенную продуктивность, позволяющую быстро размножить и длительно использовать их в сельском хозяйстве [7].

Оценку селекционного материала на высокую семенную продуктивность необходимо проводить по комплексу хозяйственно ценных признаков: зимостойкости, структуре семенного травостоя, показателям плодоношения. Выделенные в процессе работы перспективные популяции должны обладать пластичностью, чтобы обеспечить стабильную продуктивность по годам. Для увеличения семенной продуктивности клевера лугового при создании новых сортов необходимо использовать совре-

менные методы генетики и селекции. Исследования должны проводиться по всем направлениям, позволяющим получать высокоурожайные, адаптивные к различным условиям произрастания сорта для обеспечения животноводства высокобелковыми кормами [8, 9].

Цель исследований – оценить сложнгибридные популяции клевера лугового и выделить перспективные с высокой семенной продуктивностью в условиях Кировской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2017-2019 гг. на экспериментальном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. В питомнике оценки семенной продуктивности изучали урожайность семян четырех популяций в сравнении со ст. Дымковский. Три сложнгибридные популяции СГПФ-158-3, СГПФ-157-3 и СГПФ-160-3 ранее сформированы в питомнике поликросса на долговечность из выделенных по результатам трех циклов отбора биотипов на инфекционном фузариозном фоне. Гибридная популяция СГП-188 получена путем отбора высокопродуктивных биотипов с коротким периодом цветения, устойчивых к местным почвенно-климатическим условиям из сложнгибридных популяций, созданных во ВНИИ кормов. Популяции СГПФ-158-3, СГПФ-157-3 и СГПФ-160-3 относятся к раннеспелому типу, СГП-188 и ст. Дымковский – к среднеспелому.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимические показатели пахотного слоя: рН_{KCl} – 4,4; Р₂О₅ – 132 мг/кг, К₂О – 144 мг/кг (по Кирсанову), содержание гумуса – 2,27 % (по Тюрину).

Посев весенний беспокровный. Площадь делянок 30 м². В качестве экрановой изоляции высевали тимофеевку луговую. Уборку проводили напрямую селекционным комбайном.

Закладку питомника, фенологические наблюдения и учеты проводили в соответствии с методиками¹.

Полученные статистические данные обрабатывали методом дисперсионного анализа² и парного корреляционно-регрессионного анализа с использованием пакета селекционно-ориентированных программ AGROS v. 2.07 и программы Microsoft Excel 2010.

В годы изучения метеорологические условия различались по количеству тепла и влаги. Вегетационный период 2018 года (с 28 апреля по 1 сентября) характеризовался прохладной весной и теплым летом с достаточным увлажнением. В этот период ГТК составил 1,73, сумма эффективных температур

воздуха – 1699 °С, среднесуточная температура воздуха – 15,4 °С, осадков выпало 294 мм. 2019 год, несмотря на теплую погоду мая (температура воздуха выше нормы на 2,8 °С), отличался прохладным летним периодом с умеренным количеством осадков. Для этого вегетационного периода (с 22 апреля по 29 августа) характерно: ГТК – 1,48, сумма эффективных температур воздуха – 1688 °С, среднесуточная температура воздуха – 14,4 °С, количество осадков – 249 мм.

Результаты и их обсуждение. Перезимовка клеверов проходила в нормальных условиях, весеннее состояние травостоев оценено как удовлетворительное. Отрастание растений в 2018 г. отмечено 28 апреля – на 6-8 суток позднее обычных сроков, это связано с вновь выпавшим снегом (21-22 апреля), в 2019 г. – 22 апреля (благодаря рано установившейся теплой погоде). Зимостойкость всех популяций в 1 г. п. была высокой 85-95 % (табл. 1), во 2 г. п. у СГП-188 и ст. Дымковский зимостойкость снизилась до 59-65 %, что соответствует средним значениям, у остальных популяций находилась в пределах 76-84 %.

Таблица 1 – Биологическая характеристика сложного гибридных популяций клевера лугового в питомнике оценки семенной продуктивности 2017 г. посева /

Table 1 – Biological characteristics of complex hybrid populations of red clover in the nursery for assessing seed productivity of 2017 sowing

Популяция / Population	Зимостой- кость, % / Winter hardiness, %		Дата наступления фенологической фазы / Date of the beginning of phenological phase				Продолжительность межфазного периода, сут / The duration of the interphase period, days			
			цветение / flowering		созревание / ripening		начало отрастания- цветение / start of regrowth-flowering		начало отрастания- созревание / start of regrowth-ripening	
	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 2 y.u.	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 2 y.u.	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 2 y.u.	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 2 y.u.	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 2 y.u.
СГПФ-158-3 / SGPF-158-3	95	76	05.07	29.06	26.08	25.08	68	68	121	125
СГПФ-157-3 / SGPF-157-3	95	82	05.07	29.06	24.08	25.08	68	68	119	125
СГПФ-160-3 / SGPF-160-3	93	84	05.07	30.06	27.08	27.08	68	69	122	127
СГП-188 / SGP-188	93	65	08.07	02.07	26.08	28.08	71	71	121	128
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	85	59	10.07	13.07	01.09	29.08	73	82	127	129

¹Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК, 1997. 197 с.; Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. 269 с.; Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера. М.: ВНИИК, 2002. 72 с.; Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Trifolium* L. Л.: ВИР, 1983. 30 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Скорость роста и развития растений в большей степени зависит от теплообеспеченности вегетационного периода. В 2018 г. фаза цветения раннеспелых популяций наступила 5 июля, СГП-188 зацвела позднее на 3 сут, ст. Дымковский – на 5 сут, это обусловлено тем, что они относятся к более позднеспелому типу. 2019 г. отличался тёплой погодой мая и июня с достаточным увлажнением, это ускорило развитие трав, фаза цветения отмечена 29-30 июня у селекционных популяций СГПФ-158-3, СГПФ-157-3 и СГПФ-160-3, у СГП-188 – 2 июля, ст. Дымковский – 13 июля, когда наступили более благоприятные погодные условия для цветения среднеспелого сорта. Межфазный период «начало цветения-созревание» в 2018 г. варьировал от 49 (СГП-188) до 53 сут (СГПФ-160-3, ст. Дымковский). В 2019 г. этот период у всех популяций составил 57 сут, у стандарта сократился до 48 сут. Сумма эффективных температур воздуха в этот период составила 961 °С (1 г. п.) и 815 °С (2 г. п.), что повлияло на продолжительность созревания травостоев. В первый год более раннее созревание семян отмечено

у СГПФ-157-3 (24 августа), через 2-3 сут были готовы к уборке остальные селекционные популяции, ст. Дымковский – 1 сентября. На второй год созревание семян наблюдали в эти же сроки (с 25 по 29 августа). Более продолжительным (на 2-7 сут) вегетационный период отмечен у растений 2 г. п., это связано с менее благоприятными метеорологическими условиями летнего периода 2019 г.: в июле и августе было значительно холоднее, чем в эти же месяцы 2018 г., температура воздуха была ниже нормы на 1,8-2,2 °С.

Метеорологические условия также значительно влияли на высоту травостоев. В сырой и тёплый 2018 год высота растений перед уборкой на семена достигала у ст. Дымковский 133,2 см, изучаемые популяции были ниже на 6,6-23,8 см (табл. 2). В прохладный с умеренным увлажнением 2019 год у всех популяций и стандарта наблюдалось уменьшение высоты растений на 20-40 %, но в сравнении со ст. Дымковский (80,4 см) все популяции были более высокорослыми (84,6-102,8 см). Выделена перспективная СГПФ-160-3 (+22,4 см к ст.).

Таблица 2 – Хозяйственно-биологическая характеристика сложногогибридных популяций клевера лугового в питомнике оценки семенной продуктивности (посев 2017 г.) /

Table 2 – Economic and biological characteristics of complex hybrid populations of red clover in a nursery for assessing seed productivity (2017 sowing)

Популяция / Population	Высота растений, см / Plant height, cm		Урожайность семян, ц/га / Seed productivity, c/ha				
	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 2 y.u.	1 г.п. / 1 y.u.	2 г.п. / 1 y.u.	среднее за 2 года / average for 2 years	± к ст. / ± to st.	%
СГПФ-158-3 / SGPF-158-3	126,6	84,6	3,23*	1,72*	2,48*	+0,51	125,89
СГП-188/ SGP-188	118,8	99,4	3,32*	1,32*	2,32*	+0,35	117,77
СГПФ-157-3 / SGPF-157-3	109,4	90,8	2,87*	1,45*	2,16*	+0,19	109,64
СГПФ-160-3 /SGPF-160-3	123,8	102,8	2,73*	1,38*	2,06	+0,09	104,57
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	133,2	80,4	3,05	0,89	1,97	-	-
HCP ₀₅ /LSD ₀₅	-	-	0,14	0,12	0,12	-	-

* достоверно к стандарту (P≥0,95) / * reliable to standard (P≥0.95)

Семенная продуктивность клеверов сильно зависела от дневной температуры воздуха, а также влагообеспеченности в период цветения травостоя. Тёплая, солнечная погода и достаточное количество осадков в июле 2018 г. (среднесуточная дневная температура воздуха – 24,7 °С, сумма осадков –

114,2 мм, ГТК – 1,78) в большей степени благоприятствовали формированию урожая семян клевера, чем условия 2019 г., когда период цветения травостоев отличался низкими температурами воздуха в июле (-2,2 °С от нормы) и дефицитом осадков (58,1 мм). В 1 г. п. популяции СГП-188 и СГПФ-158-3

с урожайностью семян 3,32 и 3,23 ц/га достоверно превосходили ст. Дымковский на 0,27 и 0,18 ц/га ($HCp_{05} = 0,14$ ц/га). Установлено, что с возрастом травостоев наблюдается тенденция к снижению семенной продуктивности [10]. В наших исследованиях во 2 г. п., несмотря на снижение урожайности к уровню первого года, все популяции были урожайнее сорта-стандарта. В среднем за два года исследований три популяции (СГПФ-158-3, СГП-188, СГПФ-157-3) достоверно превосходили стандарт по урожайности семян.

Все изучаемые сложногобридные популяции превосходили ст. Дымковский по показателям плодоношения: количество цветков в головке; количество семян в головке; обсеменённость; масса семян с 1 головки (табл. 3). По размерам головки выделена популяция СГПФ-160-3. У СГПФ-158-3 отмечена короткая и неширокая головка, но с наибольшим

количеством цветков и семян, высокой обсеменённостью и массой семян с головки. Популяция СГП-188 незначительно уступала другим сортам по изучаемым показателям. Раннеспелые популяции отличались большим количеством цветков в головке (от 126,3 до 132,2 шт.), общим количеством семян в головке (от 71,8 до 77,4 шт.) и нормально развитых семян (от 66,4 до 73,2 шт.), лучшей обсеменённостью головок (от 54,7 до 58,5 %), общей массой семян с 1 головки (от 0,132 до 0,153 г) и массой выполненных семян с головки (от 0,128 до 0,148 г). Выделены популяции СГПФ-158-3, СГПФ-157-3 и СГПФ-160-3 с высокой семенной продуктивностью и показателями плодоношения. Лучшая урожайность семян отмечена у СГПФ-158-3 (+0,83 ц/га к ст.), она определялась большим количеством цветков в головке, количеством семян и хорошей обсеменённостью головок.

Таблица 3 – Показатели плодоношения сложногобридных популяций клевера лугового (питомник оценки семенной продуктивности, посев 2017 г.), 2019 г. /

Table 3 – Fruiting indicators of complex hybrid populations of red clover (nursery for assessing seed productivity, 2017 sowing), 2019

Популяция / Population	Параметры головки, см / Head parameters, cm		Количество, шт. / Quantity, pcs.			Обсемененность головок, % / Seedi- nessofheads, %	Масса семян с 1 голов- ки, г / The weight of seeds per 1 head, g	
	длина / length	ширина / width	цветков в головке / flowers in the head	семян в головке / seed in the head			общая / common	выполнен- ных / completed
				общее / common	нормально развитых / nor- mally developed			
СГПФ-158-3 / SGPF-158-3	2,28	2,13*	132,2*	77,4*	73,2*	58,8	0,153*	0,148*
СГПФ-157-3 / SGPF-157-3	2,32	2,23*	126,3*	74,3*	69,7*	58,8	0,163*	0,157*
СГПФ-160-3 / SGPF-160-3	2,45*	2,75*	131,2*	71,8*	66,4*	54,7	0,132*	0,128*
СГП-188 / SGP-188	2,38	2,34*	125,3*	57,3*	53,1*	45,7	0,104*	0,102
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	2,29	2,54	114,7	43,0	37,0	37,5	0,083	0,077
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,12	0,12	7,1	8,5	9,4	-	0,015	0,047

* достоверно к стандарту ($P \geq 0,95$) / * reliable to standard ($P \geq 0,95$)

Установлена высокая корреляционная зависимость семенной продуктивности от показателей плодоношения. Выявлено, что урожайность семян зависит от показателей «количество цветков в головке», «количество семян в головке», «обсеменённость головок», а также «масса семян в головке» (табл. 4).

Уровень семенной продуктивности зависит от метеорологических условий в периоды развития растений. В межфазный период «отрастание-начало цветения» отмечена тесная положительная корреляционная зависимость длины ($r = 0,86$) и ширины ($r = 0,86$) головки клевера от значений ГТК (рис. 1).

Таблица 4 – Зависимость урожайности семян сложногибридных популяций клевера лугового (Y) от показателей плодоношения (2019 г.) /

Table 4 – Dependence of seed yield of complex hybrid populations of red clover(Y) on fruiting indicators (2019)

Показатель (X) / Indicator (X)	Уравнение регрессии / Regression equation	Коэффициент корреляции с семенной продуктивностью / Coefficient of correlation with seed productivity	Коэффициент детерминации / Coefficient of determination
Количество цветков в головке, шт. / The number of flowers in the head, pcs.	$Y = -3,6533 + 0,0397436 * X$	$r = 0,92^*$	0,85
Общее количество семян в головке, шт. / The total number of seeds in the head, pcs.	$Y = 0,0969633 + 0,0193798 * X$	$r = 0,92^*$	0,86
Количество нормально развитых семян в головке, шт. / The number of normally developed seeds in the head, pcs.	$Y = 0,214046 + 0,0190039 * X$	$r = 0,94^*$	0,89
Обсеменённость головок, % / Seediness of heads, %	$Y = -0,147767 + 0,0293496 * X$	$r = 0,90^*$	0,83
Общая масса семян в 1 головке, г / The total weight of seeds in 1 head, g	$Y = 0,375734 + 7,68714 * X$	$r = 0,85^{**}$	0,73
Масса выполненных семян в 1 головке, г / The weight of filled seeds in 1 head, g	$Y = 0,38104 + 7,93268 * X$	$r = 0,87^{**}$	0,76

* значимо при $p \leq 0,05$, ** – при $p \leq 0,10$ / * significantly at $p \leq 0,05$, ** – at $p \leq 0,10$

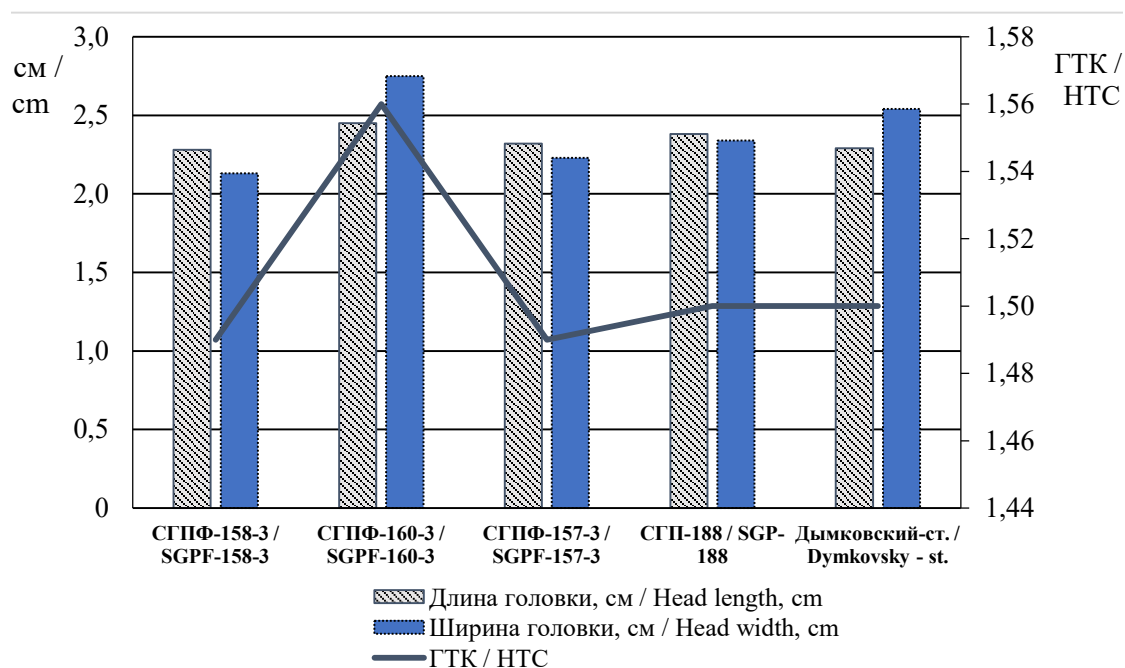


Рис. 1. Зависимость параметров головки сложногибридных популяций клевера лугового от показателя влагообеспеченности /

Fig. 1. The dependence of the parameters of the head of complex hybrid populations of red clover on the indicator of moisture availability

Средняя дневная температура воздуха и сумма эффективных температур в межфазный период «начало цветения-созревание» сильно влияют на показатели «обсеменённость головок» ($r = 0,97$ и $r = 0,87$) и «общее количество семян в головке» ($r = 0,95$ и $r = 0,89$ соответственно) (рис. 2). Также была выявлена тесная отрицательная корреляция

между указанными элементами продуктивности и ГТК в период «начало цветения-созревание» ($r = -0,95$ и $r = -0,94$).

Таким образом, в период формирования генеративных органов растения большое влияние оказывает увлажнённости территории произрастания, чрезмерное увлажнение неблагоприятно сказывается на семенной продук-

тивности. Завязывание и созревание семян зависит от оптимальной температуры воздуха,

увеличивающей лёт насекомых и интенсивность опыления головок клевера [11, 12].

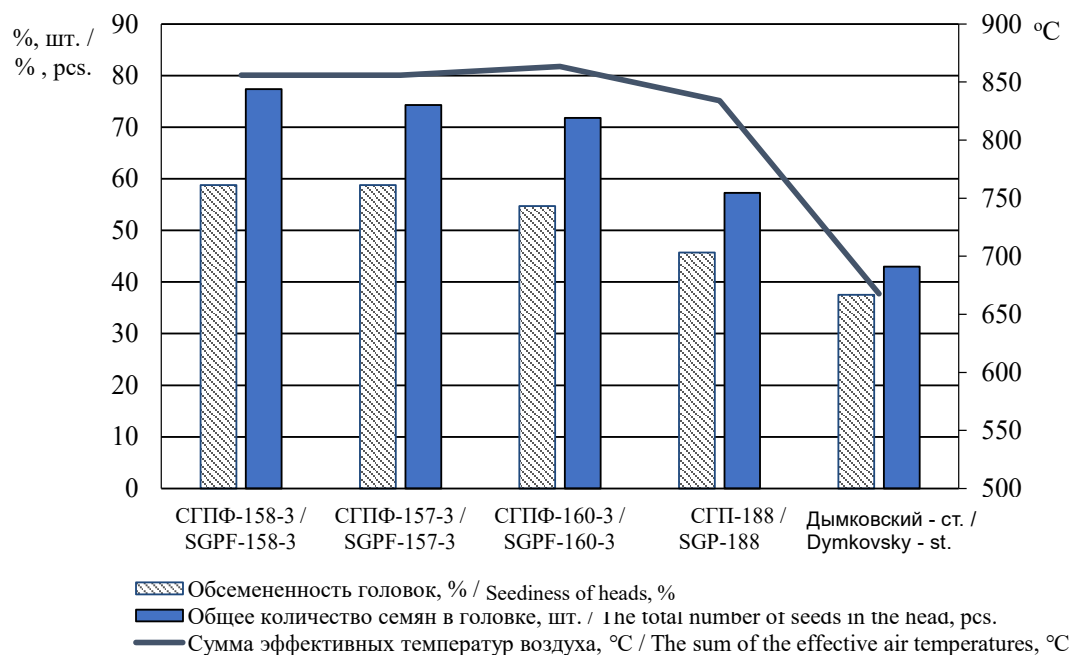


Рис. 2. Зависимость обсеменённости головок и общего количества семян в головке сложногибридных популяций клевера лугового от суммы эффективных температур воздуха /

Fig. 2. The dependence of the seediness of heads and the total number of seeds in the head of complex hybrid populations of red clover on the sum of the effective air temperatures

Определение показателей всхожести необходимо для установления количества нормально проросших семян и способности в дальнейшем образовать растение [13, 14]. Показатели качества определяли у семенного материала, полученного в 2019 г. после прохождения им периода послеуборочного дозревания (2 месяца после уборки). Лабораторная всхожесть у всех популяций была достоверно выше (94,0-97,5 %), чем у ст. Дымковский (87,5 %) (табл. 5). Согласно ГОСТу³, у семян клевера лугового всхожесть должна быть не менее 80 %, т. е. все семена изучаемых популяций и сорта-стандарта соответствовали требованиям для категории «оригинальные и элитные семена»⁴.

Энергия прорастания характеризует способность семян дружно и быстро прорасти. У трех популяций (СГП-188, СГПФ-158-3, СГПФ-157-3) она была на уровне стандарта.

При установлении процента лабораторной всхожести у многолетних и однолетних бобовых трав к фактически проросшим семенам

относят все твёрдые семена. Наибольшее их количество (24 %) было отмечено у популяции СГПФ-160-3. Достоверно повышенным содержанием твёрдых семян в сравнении со ст. Дымковский (12 %) отличались СГПФ-157-3 (на 3,5 %) и СГП-188 (на 3,0 %). У СГПФ-158-3 этот показатель был на уровне стандарта.

Максимальная масса 1000 семян, как показатель крупности и полновесности, отмечена у популяций СГПФ-158-3, СГПФ-160-3 и СГПФ-157-3 (2,06-2,07 г), что достоверно превышает сорт-стандарт (2,0 г). Эти же популяции выделяются по параметрам плодоношения (количество цветков в головке, количество семян в головке, обсемененность, масса семян с 1 головки) и семенной продуктивности. Между семенной продуктивностью и массой 1000 семян изучаемых сортов и ст. Дымковский выявлена корреляционная связь средней степени ($r = 0,59$). Аналогичные результаты были получены З. А. Зарьяновой и С. В. Кирюхиным [15].

³ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2011. 64 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023365>

⁴ГОСТ 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 20 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200039547>

Таблица 5 – Посевные качества семян сложногибридных популяций клевера лугового (питомник оценки семенной продуктивности, посев 2017 г., учет 2019 г.) /

Table 5 – Sowing qualities of seeds of complex hybrid populations of red clover (nursery for assessing seed productivity, 2017 sowing, 2019 census)

Популяция / Population	Всхожесть, % / Germination, %	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	В том числе твёр- дых семян, % / Including hard seeds, %	Масса 1000 семян, г / 1000 seed weight, g
СГПФ-157-3/ SGPF-157-3	97,5*	79,5	15,5*	2,07*
СГПФ-160-3/ SGPF-160-3	97,0*	68,0*	24,0*	2,06*
СГПФ-158-3/ SGPF-158-3	95,5*	78,0	12,5	2,06*
СГП-188 / SGP-188	94,0*	76,0	15,0*	1,97*
Дымковский-ст./ Dymkovsky-st.	87,5	76,5	12,0	2,00
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	5,1	3,6	2,5	0,01

* достоверно к стандарту ($P \geq 0,95$) / *reliable to standard ($P \geq 0,95$)

Выводы. В результате проведенных исследований в питомнике оценки семенной продуктивности выделены в качестве перспективных сортов сложногибридные популяции клевера лугового СГПФ-158-3, СГПФ-157-3 и СГП-188 с урожайностью семян от 2,16

до 2,48 ц/га, превосходящие ст. Дымковский на 9,64-25,89 %. Популяции СГПФ-158-3 и СГПФ-157-3 также были лучшими по показателям плодоношения. Выявлена сильная корреляционная зависимость семенной продуктивности от показателей плодоношения.

Список литературы

1. Чугреев М. К., Тормосина Т. Т. Сравнительное изучение работы карпатских пчёл на опыление клевера лугового в условиях Ярославской области. Достижения науки и техники АПК. 2011;(5):70-71. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16382717>
2. Акманаев Э. Д., Багатырева А. С. Влияние абиотических условий на урожайность одноукосного и двухукосного сортов клевера лугового в Среднем Предуралье. Пермский аграрный вестник. 2017;(1(17)):12-18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28822607>
3. Ковалевская Л. И., Бушуева В. И. Изменчивость морфологических и хозяйственно полезных признаков у клевера лугового и ее использование в селекции. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(3):74-78. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenchivost-morfologicheskikh-i-hozyaystvenno-poleznyh-priznakov-u-klevera-lugovogo-i-ee-ispolzovanie-v-selektcii>
4. Зарьянова З. А., Цуканова З. Р., Кирюхин С. В. Особенности хозяйственных и биологических признаков нового сорта клевера лугового Сувенир. Зернобобовые и крупяные культуры. 2015;(3(15)):30-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24116415>
5. Тормозин М. А., Нагибин А. Е., Зырянцева А. А. Ценные по ряду признаков образцы клевера лугового на Урале. Аграрный вестник Урала. 2018;(10(177)):16-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36587109>
6. Золотарев В. Н., Косолапов В. М., Переправов Н. И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Волго-Вятском регионе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;1(56):28-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28318039>
7. Зарьянова З. А., Кирюхин С. В. Изучение комбинационной способности сортов и селекционных номеров клевера лугового по признаку семенной продуктивности. Вестник ОрелГАУ. 2014;(5(50)):134-139. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22612481>
8. Скалозуб О. М., Емельянов А. Н. Урожайность и посевные качества семян сортов клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) и гибридного (*Trifolium hybridum* L.) в условиях степной зоны Приморского края. Дальневосточный аграрный вестник. 2015;(4(36)):21-27. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25808991>
9. Курдакова О. В., Рекашус Э. С., Иванова С. В. Оценка исходного материала в создании нового раннеспелого сорта клевера лугового Починковец. Экология и строительство. 2018;(1):53-59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35128523>

10. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Продуктивность сортов клевера лугового в условиях Среднего Предуралья. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016;(5(54)):31-36.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26605309>
11. Зарьянова З. А. Семенная продуктивность сортов клевера лугового различного типа спелости в условиях северной части Центрально-Черноземного региона. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2012;(2):108-115. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19132245>
12. Тимошкина О. Ю., Тимошкин О. А. Оценка сортообразцов клевера ползучего в конкурсном сортоиспытании. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018;20(2-2(82)):209-213. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36289154>
13. Марченко Л. В. Посевные качества семян клевера лугового, репродуцированных в условиях Северного Зауралья. *Вестник КрасГАУ*. 2014;(8(95)):81-83. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21989486>
14. Скалозуб О. М. Продуктивность и питательность сортов клевера лугового в условиях Приморского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;(6(104)):62-65. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19092539>
15. Зарьянова З. А., Кирюхин С. В. Сопряжённость семенной продуктивности клевера лугового с его хозяйственными, биологическими и морфологическими признаками. *Образование, наука и производство*. 2014;(2):88-91. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sopryazhyonnost-semennoy-produktivnosti-klevera-lugovogo-s-ego-hozyaystvennymi-biologicheskimi-i-morfologicheskimi-priznakami>

References

1. Chugreev M. K., Tormosina T. T. *Sravnitel'noe izuchenie raboty karpatskikh pchel na opylenie klevera lugovogo v usloviyakh Yaroslavskoy oblasti*. [Comparative study of carpathian bees work on pollination of meadow clover under condition of Yaroslavl region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(5):70-71. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16382717>
2. Akmanayev E. D., Bagatyreva A. S. *Vliyaniye abioticheskikh usloviy na urozhaynost' odnoukosnogo i dvoukosnogo sortov klevera lugovogo v Srednem Predural'e*. [Influence of abiotic conditions on the yield of single and double-crop clover meadow in middle Preduralie]. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2017;(1(17)):12-18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28822607>
3. Kovalevskaya L. I., Bushueva V. I. *Izmenchivost' morfologicheskikh i khozyaystvenno poleznykh priznakov u klevera lugovogo i ee ispol'zovanie v selektsii*. [Variability of morphological and economically useful traits in meadow clover and its use in breeding]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2016;(3):74-78. (In Belarus). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenchivost-morfologicheskikh-i-hozyaystvenno-poleznykh-priznakov-u-klevera-lugovogo-i-ee-ispolzovanie-v-selektsii>
4. Zaryanova Z. A., Tsukanova Z. R., Kiryukhin S. V. *Osobennosti khozyaystvennykh i biologicheskikh priznakov novogo sorta klevera lugovogo Souvenir*. [Features of economic and biological characteristics of the new variety of red clover Souvenir]. *Zernobobovye i krupnyane kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2015;(3(15)):30-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24116415>
5. Tormozin M. A., Nagibin A. E., Zyryantseva A. A. *Tsennye po ryadu priznakov obraztsy klevera lugovogo na Urale*. [Valuable on a number of grounds samples of red clover in the Urals]. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018;(10(177)):16-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36587109>
6. Zolotarev V. N., Kosolapov V. M., Perepravo N. I. *Sostoyaniye travoseyaniya i perspektivy razvitiya semenovodstva mnogoletnikh trav v Rossii i Volgo-Vyatskom regione*. [The state of grass cultivation and prospects of development of seed production of perennial grasses in Russia and in the Volga-Vyatka region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;1(56):28-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28318039>
7. Zaryanova Z. A., Kiryukhin S. V. *Izucheniye kombinatsionnoy sposobnosti sortov i selektsionnykh numerov klevera lugovogo po priznaku semennoy produktivnosti*. [Study of combining ability of varieties and selected numbers of meadow clover according to seed productivity]. *Vestnik OrelGAU = Vestnik OrelGAU*. 2014;5(50):134-139. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22612481>
8. Skalozub O. M., Emel'yanov A. N. *Urozhaynost' i posevnye kachestva semyan sortov klevera lugovogo (Trifolium pratense L.) i gibridnogo (Trifolium hybridum L.) v usloviyakh stepnoy zony Primorskogo kraya*. [Yield and sowing quality of seeds of *Trifolium pratense* L. and *Trifolium hybridum* L. in the conditions of steppe zone in Primorsky krai]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*. 2015;(4(36)):21-27. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25808991>
9. Kurdakova O. V., Rekashus E. S., Ivanova S. V. *Otsenka iskhodnogo materiala v sozdaniy novogo rannespelogo sorta klevera lugovogo Pochinkovets*. [Estimation of the initial material of meadow clover for create the new early-maturing variety Pochinkovets]. *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2018;(1):53-59. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35128523>

10. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. *Produktivnost' sortov klevra lugovogo v usloviyakh Srednego Predural'ya*. [Productivity of red clover varieties in conditions of the Middle Urals]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2016;(5(54)):31-36. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26605309>

11. Zaryanova Z. A. *Semennaya produktivnost' sortov klevra lugovogo razlichnogo tipa spelosti v usloviyakh severnoy chasti Tsentral'no-Chernozemnoy regiona*. [Seed productivity of varieties of meadow clover of various maturity in the conditions of northern part of Central Black Earth region of the Russian Federation]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2012;(2):108-115. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19132245>

12. Timoshkina O. Yu., Timoshkin O. A. *Osenka sortoobraztsov klevra polzuchego v konkursnom sortoispytanii*. [Estimation samples dutch clover creeping in competitive test of grades]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-2(82)):209-213. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36289154>

13. Marchenko L. V. *Posevnye kachestva semyan klevra lugovogo, reproduktivnykh v usloviyakh Severnogo Zaural'ya*. [The sowing qualities of red clover seeds reproduced in the northern Trans-Ural region conditions]. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2014;(8(95)):81-83. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21989486>

14. Skalozub O. M. *Produktivnost' i pitatel'nost' sortov klevra lugovogo v usloviyakh Primorskogo kraia*. [Productivity and nutritional value of trifolium *Pratensis* L. varieties in the conditions of the Primorskiy region]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2013;(6(104)):62-65. (in Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19092539>

15. Zaryanova Z. A., Kiryukhin S. V. *Sopryazhennost' semennoy produktivnosti klevra lugovogo s ego khozyaystvennymi, biologicheskimi i morfologicheskimi priznakami*. [Pairing seed productivity red clover with its economic, biological morphological signs]. *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo* = The Education and Science Journal. 2014;(2):88-91. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sopryazhennost-semennoy-produktivnosti-klevra-lugovogo-s-ego-hozyaystvennymi-biologicheskimi-i-morfologicheskimi-priznakami>

Сведения об авторах

✉ **Шихова Ирина Витальевна**, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, e-mail: travy@fanz-sv.ru

Попова Евгения Валериевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4656>

Арзамасова Екатерина Геннадьевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0939-4400>

Information about the authors

✉ **Irina V. Shikhova**, junior researcher the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fancsv.ru, e-mail: travy@fanz-sv.ru

Evgenia V. Popova, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Growing of Perennial Grasses, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4656>

Ekaterina G. Arzamasova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Growing of Perennial Grasses, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0939-4400>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Клональное микроразмножение клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) в Удмуртской Республике

© 2021. Е. Н. Черемных ✉, Т. Г. Леконцева, А. В. Худякова, А. В. Федоров
ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Удмуртская Республика, г. Ижевск, Российская Федерация

В работе приведены результаты исследований за 2018-2019 гг. по совершенствованию технологии выращивания посадочного материала клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) сортов Краса Севера, Северянка и Вируссааре на основе *in vitro*. Изучали влияние концентраций регуляторов роста в составе питательной среды по рецептуре Андерсона на размножение и последующее укоренение микрочеренков, а также продолжительность культивирования и адаптацию микросаженцев в зависимости от частичной обрезки побегов. Установлено, что на этапе введения в культуру *in vitro* стерилизация эксплантов 33 % перекисью водорода в экспозиции 5-8 минут с промыванием в 5 порциях стерильного дистиллята дает 60-80 % жизнеспособных побегов. Оптимальной фазой развития растений для успешного введения в культуру *in vitro* является набухание почек. Культивирование микрочеренков проводили в светокоробке при температуре 25 ± 2 °C, фотопериод 16 часов. Продолжительность каждого субкультивирования составляла 30-60 суток. Для этапа собственно микроразмножения на питательной среде Андерсона повышение дозы цитокинина 6-бензиламинопурина (6-БАП) с 0,2 до 0,5 мг/л и увеличение продолжительности культивирования с 30 до 60 суток способствовали существенному повышению коэффициента размножения в среднем по испытываемым сортам клюквы болотной. По эффективности микроразмножения выделены сорта Вируссааре и Краса Севера – 9,3 и 12,0 шт/черенок соответственно. На этапе укоренения применение корнеобразующего реагента индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) в дозах 0,2, 0,5 и 1,0 мг/л в составе питательной среды Андерсона не повлияло на качество корнеобразования и длину побегов микросаженцев сорта Вируссааре. Существенных сортовых отличий в корнеобразовательной способности микрочеренков не выявлено. Отмечена тенденция лучшей укореняемости микрочеренков у сорта Вируссааре (90,3 %) по сравнению с сортами Северянка (85,7 %) и Краса Севера (79,3 %). Микросаженцы сорта Краса Севера характеризовались самыми длинными побегами, общее количество корней было меньше, однако их длина была больше по сравнению с другими сортами. Для этапа адаптации применяли субстрат из смеси низинного торфа и мха-сфагнума (1:1). Эффективность адаптации микросаженцев сортов клюквы при обрезке верхушечной части побегов составляла 100 %. Обрезка побегов микросаженцев способствовала образованию большего количества боковых побегов и лучшему развитию надземной части растений.

Ключевые слова: сорта клюквы, *in vitro*, питательная среда, укоренение, адаптация

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № НИОКТР АААААА-А18-118031390077-4).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Черемных Е. Н., Леконцева Т. Г., Худякова А. В., Федоров А. В. Клональное микроразмножение клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) в Удмуртской Республике. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):57-66. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.57-66>

Поступила: 23.06.2020 Принята к публикации: 14.01.2020 Опубликована онлайн: 22.02.2021

Clonal micropropagation of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) in the Udmurt Republic

© 2021. Ekaterina N. Cheremnykh ✉, Tatyana G. Lekontseva,
Anna V. Khudyakova, Alexander V. Fedorov

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

The paper presents the results of 2018-2019 research on improving the technology of growing planting material of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) of Krasa Severa, Severyanka, Virussaare varieties on the basis of *in vitro*. Studied was the effect of the concentrations of growth regulators in the composition of the nutrient medium according to Anderson's recipe on the reproduction and subsequent rooting of micro cuttings, as well as the duration of cultivation and adaptation of micro plants depending on partial pruning of shoots. It has been established that at the stage of introduction into *in vitro* culture, sterilization of explants with 33% hydrogen peroxide in an exposure of 5-8 minutes with washing in 5 portions of sterile distillate gives 60-80 % of viable shoots. The optimum phase of plant development for the successful introduction of *in vitro* culture is the swelling of buds. Cultivation of micro cuttings was carried out in a light room at a temperature of 25 ± 2 °C, a photoperiod of 16 hours. The duration of each subculturing was 30-60 days. For the stage of actual micropropagation on Anderson's nutrient medium, an increase in the dose of cytokinin 6-benzylaminopurine (6-BAP) from 0.2 to 0.5 mg/l and an increase in the duration of cultivation from 30 to 60 days contributed to a significant increase in the multiplication factor on average for the tested cranberry varieties.

According to the efficiency of micropropagation, the varieties *Virussaare* and *Krasa Severa* were distinguished – 9.3–12.0 pcs/stalk, respectively. At the rooting stage, the use of a root-forming reagent of indolyl-3-acetic acid (IUK) in doses of 0.2, 0.5 and 1.0 mg/l in the composition of Anderson's nutrient medium did not affect the quality of root formation and the length of shoots of *Virussaare* micro-plants. No significant varietal differences in the root-forming ability of microcuttings were found. The tendency of better rooting of micro cuttings was observed in the *Virussaare* variety (90.3 %) compared to the *Severyanka* (85.7 %) and *Krasa Severa* (79.3 %) varieties. Micro plants of the *Krasa Severa* cultivar were characterized by the longest shoots, the total number of roots was less, but their length was longer in comparison with other cultivars. For the adaptation stage, a substrate from a mixture of lowland peat and sphagnum moss was used (1:1). The efficiency of adaptation of micro plants of cranberry varieties when cutting the tip of the shoots was 100 %. Pruning of micro plants shoots contributed to the formation of more side shoots and better development of the aboveground part of the plants.

Keywords: cranberry varieties, *in vitro*, nutrient medium, rooting, adaptation

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 Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. AAAAAA-A18-118031390077-4).

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

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

For citation: Cheremnyk E. N., Lekontseva T. G., Khudyakova A. V., Fedorov A. V. Clonal micropropagation of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) in the Udmurt republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):57-66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.57-66>

Received: 23.06.2020

Accepted for publication: 12.2020

Published online: 22.02.2021

Клюква – экономически и биологически ценная ягодная культура, выращиваемая в больших масштабах, начиная с середины XIX века. Клюква – вечнозелёный кустарник, относящийся к семейству Брусничные (*Vacciniaceae*). Плоды клюквы содержат сложный и богатый комплекс биологически активных веществ, таких как органические кислоты, пектиновые вещества, полифенолы (дубильные и красящие вещества), витамины и другие, а по лечебно-диетическим свойствам она превосходит многие широко распространенные ягодные культуры. Используется в свежем и консервированном видах не только как пищевое, но и лекарственное растение [1, 2, 3, 4].

Размножают клюкву в основном классическим методом вегетативного размножения – черенкованием. Данный метод является успешным, но медленным и трудоемким [3, 4, 5]. Микроразмножение – потенциальный метод вегетативного размножения клюквы для ускоренного разведения перспективных сортов и получения здорового посадочного материала [3, 5]. Использование метода клонального микроразмножения клюквы болотной может служить цели получения оздоровленного посадочного материала в большом количестве при возможности проведения работ круглый год и экономии площадей для выращивания.

В последние десятилетия метод клонального микроразмножения растений получил широкое распространение в России и за рубежом. В основе метода лежит уникальная способность растительной клетки реализовы-

вать присущую ей тотипотентность, то есть давать начало целому растительному организму под влиянием экзогенных воздействий¹.

Под руководством Н. В. Кухарчик в институте НАН Беларуси разработаны методы клонального микроразмножения многих плодово-ягодных культур, в том числе у таких представителей семейства *Vacciniaceae*, как клюква крупноплодная, брусника, голубика [6].

Известно, что различные требования к условиям выращивания *in vitro* предъявляют не только разные виды, но и сорта растений. Поэтому подбор питательных сред и условий культивирования является важным этапом в биотехнологических работах [7, 8, 9].

Решающими этапами при клональном микроразмножении являются укоренение регенерантов и их адаптация к условиям внешней среды. Укоренение *ex vitro* позволяет упростить процесс микроразмножения растений рода *Vaccinium* L. и одновременно получить адаптированные к естественным условиям растения. Применение методов микроразмножения и микрочеренкования является перспективным направлением, которое даст возможность увеличить выход саженцев и сократить расходы на их производство [10].

Остается много проблемных вопросов по введению в стерильную культуру, подбору состава и концентраций регуляторов роста, повышению эффективности технологической цепочки клонального микроразмножения, в т. ч. на этапе адаптации микрорастений [11].

¹Катаева Н. В., Бутенко Р. Г. Клональное микроразмножение растений. М.: Наука, 1983. 97 с.

Таким образом, исследования, направленные на усовершенствование технологии выращивания клюквы болотной на основе *in vitro*, имеют научную и практическую перспективу.

Цель исследований – подбор оптимальных концентраций регуляторов роста и продолжительности культивирования для повышения эффективности клонального микроразмножения сортов клюквы болотной на основе *in vitro*.

Материал и методы. Исследования проводили на базе лаборатории клонального микроразмножения растений отдела интродукции и акклиматизации растений Удмуртского Федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Объектами исследований служили сорта клюквы болотной: Краса Севера, Северянка, Вируссааре.

Краса Севера (Костромская лесная опытная станция, Россия) – сорт позднего срока созревания (конец первой декады сентября). Ягоды округло-овальные от светло-красных до темно-красных, блестящие. Средняя урожайность составляет 1,6 кг/м². Плоды содержат: сахаров 6,8 %, кислот 3,0 %, витамина С 21 мг/100 г. Достоинства сорта: высокая урожайность, крупноплодность. Недостатки не выявлены.

Северянка (Костромская лесная опытная станция, Россия) – сорт среднераннего созревания (конец третьей декады августа). Ягоды овальные, крупные, темно-красные, кислые, сочные. Средняя урожайность 1,4 кг/м². Плоды содержат: сахаров 7,2 %, кислот 2,8 %, витамина С 20 мг/100 г. Достоинства сорта: высокая урожайность, крупноплодность. Недостаток: разномерность ягод. Сорт принят на государственное испытание в 1995 году и включен в Государственный реестр РФ².

Вируссааре (Нигулацкий заповедник, Эстония) – сорт относится к позднеспелым, полное созревание ягод наступает в конце второй декады сентября. Данный сорт относится к

среднерослым, куст стелющийся^{3, 4}. Урожайность до 0,3 кг/м².

Процесс клонального микроразмножения принято разделять на четыре этапа: 1) выбор растения-донора, изолирование эксплантов и получение хорошо растущей стерильной культуры; 2) собственно микроразмножение, когда достигается получение максимального количества микропобегов; 3) укоренение размноженных побегов; 4) адаптация их к почвенным условиям, выращивание растений в условиях теплицы⁵.

Этап введения в стерильную культуру *in vitro* предполагает проведение стерилизации эксплантируемого материала с сохранением его жизнеспособности. За основу принята методика подготовки и стерилизации эксплантов, которая неоднократно была нами испытана на многих культурах и предусматривает 30-минутную промывку черенков под проточной холодной водой для удаления поверхностной патогенной микрофлоры. В дальнейшем в стерильных условиях ламинар-бокса в течение 5-8 минут в 33 % перекиси водорода с последующим 5-кратным промыванием в стерильном дистилляте [12, 13].

Культивирование микрочеренков проводили в светоконате при температуре 25±2 °С, фотопериод 16 часов. Продолжительность культивирования составляла 30-60 суток.

Для введения эксплантов клюквы болотной использовали модифицированную питательную среду по рецептуре Андерсона⁶, дополненной цитокинином 6-бензиламинопурином (6-БАП) в концентрации 0,2 мг/л. Среда Андерсона характеризуется как бедная. Содержит макро-, микроэлементы и Fe-хелат по Андерсону, мезоинозит – 100,0 мг/л, глицин – 1,0, аскорбиновую кислоту – 1,0 мг/л, никотиновую кислоту, тиамин, пиридоксин – по 0,5 мг/л, сахарозу – 20,0 г/л, агар-агар – 4,2 г/л, pH 5,2-5,4.

При выборе питательной среды для культивирования микрочеренков клюквы ориентировались на результаты исследований Е. В. Березиной с соавторами: на среде Андерсона

²Российские сорта клюквы болотной. [Электронный ресурс]. URL: <https://sad6sotok.ru/российские-сорта-клюквы-болотной.html> (дата обращения 30.11.2020).

³Макеев В. А., Макеева Г. Ю. Некоторые результаты внутривидовой гибридизации клюквы болотной. Состояние и перспективы развития ягодоводства в России: мат-лы Всерос. научн.-метод. конф. Орел: Изд-во ВНИИСПК, 2006. С. 192-195. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28992817>

⁴Vilbaste H., Vilbaste J., Ader K. Cranberry – The grape of the north. Ministry of environment, Republic of Estonia. Nigula state nature reserve. Tallinn, 1995. 16 p.

⁵Бутенко Р. Г. Биология культивируемых клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М.: ФБК-Пресс, 1999. 159 с.

⁶Anderson W. C. A revised tissue culture medium for shoot multiplication of rhododendron. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1984;109:343-347.

с сахарозой в качестве углевода растения клюквы крупноплодной сорта Стивенс росли хорошо, быстро наращивали вегетативную массу при культивировании *in vitro* и характеризовались высокой жизнеспособностью при пересадке в грунт [14]. Минеральный состав питательной среды Андерсона сбалансирован в соответствии с требованиями семейства Вересковые⁷. На последующих этапах размножения также использовалась модифицированная питательная среда по рецептуре Андерсона.

Для размножения использовали метод микрочеренкования, длина черенков 10-15 мм. Коэффициент размножения (шт/черенок) рассчитывали как количество побегов, полученных за одно субкультивирование с одного микрочеренка, эффективность адаптации – в % от общего количества высаженных микросаженцев. Эффективность адаптации микросаженцев была проанализирована в зависимости от количества листьев на регенерантах. Отрезанные части побегов были высажены на укоренение *ex vitro*.

Опыты проводили в трехкратной повторности, в каждом варианте анализировали не менее 30 шт. эксплантов, микропобегов и микрорастений. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁸.

Результаты и их обсуждение. Предварительно растения-доноры оценивали на соответствие сорту. Для введения в стерильную культуру большое внимание уделялось качеству побегов, отсутствию на них следов внешних повреждений и поражения инфекции. Забор побегов проводили в сухую солнечную погоду.

Маточные растения произрастали в условиях открытого грунта. В качестве эксплантов для введения в культуру *in vitro* были использованы однопочковые сегменты побегов с набухшими почками.

Примененная нами схема стерилизации побегов клюквы дала выход 60-80 % жизнеспособных стерильных эксплантов. Однако при первой попытке введения (16.05.2018) экспланты должного развития не получили: внешний вид через неделю культивирования был непривлекательным, черенки выглядели сморщенными и в дальнейшем высохли. При повторной попытке через 8 дней были получены положительные результаты, что, на наш взгляд, было связано с оптимальной фазой развития растений (набухание почек) на момент введения в стерильную культуру.

На питательной среде Андерсона (6-БАП, 0,2 мг/л) максимальный коэффициент размножения за 30 суток культивирования был у клюквы сорта Краса Севера (3,1 шт/черенок), что существенно больше по сравнению с сортом Северянка. В среднем коэффициент размножения для исследуемых сортов составил 2,2 шт/черенок. Увеличение продолжительности культивирования до 60 суток способствовало значительному повышению эффективности размножения всех сортов.

Лучше всех размножался сорт Краса Севера – 5,3 шт/черенок. Увеличение продолжительности культивирования с 30 до 60 суток способствовало повышению эффективности размножения данного сорта в 2,4 раза (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние продолжительности культивирования на коэффициент размножения сортов клюквы, шт/черенок /

Table 1 – Influence of the duration of cultivation on the reproduction factor of cranberry varieties, pcs. / stalk

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Продолжительность культивирования, сут (фактор В) / Duration of cultivation, days (factor B)		Среднее по фактору А / Average factor A
	30	60	
Краса Севера / Krasa Severa	3,1	7,5	5,3
Северянка / Severyanka	1,3	2,6	2,0
Вируссааре / Virussaare	2,2	5,4	3,8
Среднее по фактору В / Average factor B	2,2	5,2	-
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ частных различий / specific differences		1,09	
по фактору А / by factor A		0,77	
по фактору В / by factor B		0,81	

⁷Калинин Ф. Л., Кушнир Г. П., Сарнацкая В. В. Технология микроклонального размножения растений. Киев: Наукова думка, 1992. 232 с.

⁸Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.

Отметим, что при длительном культивировании микрочеренков на среде с содержанием цитокинина 0,2 мг/л наблюдалось корнеобразование. Очевидно, укоренение стало возможным вследствие эндогенного синтеза ауксинов микропобегами клюквы. Внешний вид побегов был привлекательным: отсутствовали признаки некроза, хлороза и витрификации.

На этапе собственно микроразмножения увеличение концентрации цитокинина 6-БАП с 0,2 до 0,5 мг/л сопровождалось существенным повышением коэффициента размножения

у сортов Вируссааре и Краса Севера до 9,3 и 12,0 шт/черенок соответственно (табл. 2).

На этапе укоренения *in vitro* была применена ауксининдолил-3-уксусная кислота. Оценивали корнеобразование и внешний вид микросаженцев в зависимости от концентрации ауксина на примере сорта Вируссааре. Необходимо отметить, что период корнеобразования был продолжительным, около двух месяцев. По истечении этого периода микрочеренки укоренились и были готовы для пересадки в субстрат для адаптации (табл. 3).

**Таблица 2 – Влияние концентрации 6-БАП на коэффициент размножения сортов клюквы, шт/черенок /
Table 2 – Influence of 6-BAP concentration on the reproduction factor of cranberry varieties, pcs/stalk**

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Концентрация 6-БАП, мг/л (фактор В) / Concentration of 6-BAP, mg/l (factor B)		Среднее по фактору А / Average factor A
	0,2	0,5	
Краса Севера / Krasa Severa	8,2	12,0	10,1
Северянка / Severyanka	3,5	5,1	4,3
Вируссааре / Virussaare	6,4	9,3	7,9
Среднее по фактору В / Average factor B	6,0	8,8	
HCP ₀₅ / LSD ₀₅ частных различий / specific differences			2,30
по фактору А / by factor A			1,62
по фактору В / by factor B			2,33

**Таблица 3 – Влияние концентрации ИУК на длину побега клюквы сорта Вируссааре /
Table 3 – Influence of IUK concentration on the shoot length of Virussaare cranberry variety**

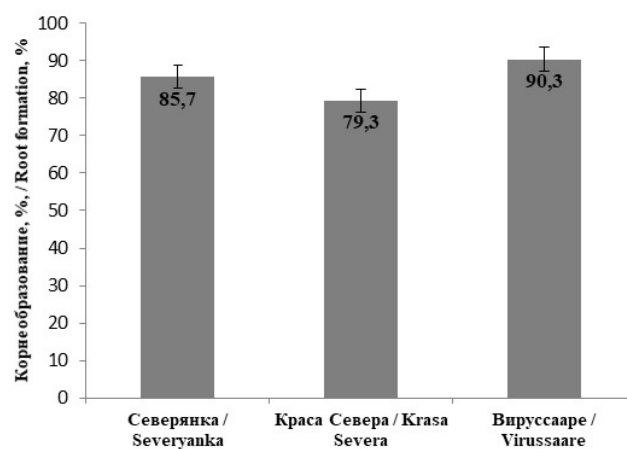
Содержание ИУК, мг/л / IUK content, mg / l	Длина побега, мм / Shoot height, mm
0,2	50,8
0,5	57,0
1,0	60,2
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	F _φ < F ₀₅

По визуальной оценке, на всех питательных средах качество корней было примерно одинаковым. При повышении концентрации ИУК наблюдали увеличение длины побега, однако разница была несущественна.

С целью изучения корнеобразования сортов было высажено по 217 микрочеренков на среду Андерсона (ИУК 0,5 мг/л). По данным статистического анализа, достоверных различий между сортами не выявлено (рис. 1).

Увеличение продолжительности культивирования с 60 до 70 суток способствовало укоренению микрочеренков до 100 %.

Микросаженцы сорта Краса Севера характеризовались самыми длинными побегами. Разницы между такими параметрами, как количество и длина корней отмечено не было (табл. 4).



**Рис. 1. Корнеобразование сортов клюквы, среда Андерсона, ИУК 0,5 мг/л, /
Fig. 1. Root formation of cranberry varieties, Anderson's medium, IUK 0.5 mg/l**

Таблица 4 – Морфометрические параметры микросаженцев сортов клюквы, среда Андерсона, ИУК 0,5 мг/л /
Table 4 – Morphometric parameters of micro seedlings of cranberry varieties, Anderson's medium, IUK 0.5 mg/l

Сорт / Variety	Высота, см / Height, cm	Количество корней, шт. / Number of roots, pcs.	Длина корней, мм / Root length, mm
Краса Севера / Krasa Severa	15,1	1,6	10,4
Северянка / Severyanka	7,8	2,3	6,3
Вируссааре / Virussaare	11,6	2,1	8,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	2,8	F _{ф.} < F ₀₅	F _{ф.} < F ₀₅

Для адаптации к условиям *ex vitro* микросаженцы высаживали в смесь низинного торфа и мха-сфагнума (1:1). Корни растений промывали от остатков питательной агаризованной среды в децимолярном растворе марганцовокислого калия, субстрат перед посадкой был пролит раствором «Триходерма вериде» – 1,5 г/л (изготовитель ООО «Ваше хозяйство»). Данный препарат защищает от корневых и плодовых гнилей, черной ножки, белой и серой гнили, макроспориоза, фузариоза, фитофтороза, антракноза, вилта и других. «Триходерма вериде» относится к биологическим препаратам, представляет собой порошок, содержащий миллиарды сухих спор микрогрибка *Trichoderma veride*⁹.

Применение данного препарата в наших предыдущих исследованиях положительно влияло на адаптацию микросаженцев винограда культурного, декоративных сортов роз [12, 13].

При посадке клюквы в субстрат мы столкнулись с проблемой полегания побегов микросаженцев, что приводило к снижению технологичности проведения ухода и в целом ухудшению товарного вида (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид микросаженцев клюквы сорта Краса Севера /
Fig. 2. The external view of micro seedlings of Krasa Severa cranberry variety

В связи с этим нами был применен прием, который заключался в обрезке верхней части побега. Анализировали эффективность адаптации целых микросаженцев с длинными побегами, с 2-3 и 4-5 листьями (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид микросаженцев клюквы на этапе адаптации: а) с 2-3 листьями, б) с длинными побегами без обрезки /

Fig. 3. The external view of micro seedlings of cranberry at the stage of adaptation: a) with 2-3 leaves, b) with long shoots without pruning

⁹Триходерма вериде: инструкция по применению. [Электронный ресурс]. URL: <https://sotkiradosti.ru/v-pomoshh-rasteniyam/trichoderma-veride-instruktsiya-po-primeneniyu/> (дата обращения 27.03.2020).

Во всех вариантах опыта наблюдалась 100 % приживаемость. Обрезка верхушечной части побегов способствовала кущению кустов, что является положительным моментом при формировании растений (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид однолетних саженцев
клюквы болотной /
Fig. 4. The external view of annual
seedlings of bog cranberry

В исследованиях Т. Н. Божидай было получено 100 % укоренение черенков и последующая адаптация растений-регенерантов трех сортов клюквы крупноплодной в условиях *ex vitro*. В качестве черенков использовали верхушки микропобегов растений, адаптированных к условиям окружающей среды [10]. Нами была проанализирована возможность укоренения верхушек побегов микросаженцев после обрезки растений *in vitro*. В первом варианте черенки длиной около 5 см высаживали в субстрат из низинного торфа и мха сфагнума (1:1), пролитый раствором ИУК (20 мг/л). Во втором варианте черенки выдерживали в растворе ИУК (10 мг/л) в течение 16-18 часов с последующей посадкой на укоренение. Однако данные методы укоренения микрочеренков оказались неперспективными. Наблюдалось длительное корнеобразование, выпад микрочеренков был вследствие поражения пагубной микрофлорой. Очевидно, это было связано с тем, что растения, у которых брали черенки для укоренения, были еще неадаптированные и имели травянистые побеги без запаса питательных веществ, быстро теряли тургор и отличались высокой восприимчивостью к патогенным условиям окружающей среды.

Однако обрезанную часть побегов можно с успехом использовать для дальнейшего

размножения или корнеобразования *in vitro*, что позволяет повысить эффективность микроразмножения. В исследованиях Е. П. Емельяновой для сокращения периода укоренения были использованы микропобеги с уже укорененных регенерантов голубики топяной [15]. В наших исследованиях применение такого же приема стимулировало развитие корней на 10 сутки культивирования клюквы болотной *in vitro*.

Выводы. 1. На этапе введения в культуру *in vitro* стерилизация эксплантов, взятых с материнских растений клюквы болотной в период набухания почек, 33 % перекисью водорода в экспозиции 5-8 минут с промыванием в 5 порциях стерильного дистиллята позволяет получить до 60-80 % стерильных жизнеспособных эксплантов.

2. Для этапа собственно микроразмножения на питательной среде Андерсона повышение дозы цитокинина 6-БАП с 0,2 до 0,5 мг/л и увеличение продолжительности культивирования с 30 до 60 суток способствовали существенному повышению коэффициента размножения в среднем по испытываемым сортам клюквы болотной. По эффективности микроразмножения выделены сорта Вируссааре и Краса Севера – 9,3 и 12,0 шт/черенок соответственно.

3. На этапе укоренения применение корнеобразующего реагента ИУК в дозах 0,2, 0,5 и 1,0 мг/л в составе питательной среды Андерсона не повлияло на качество корнеобразования и длину побегов микросаженцев сорта Вируссааре.

4. Существенных сортовых отличий в корнеобразовательной способности микрочеренков не выявлено. Отмечена тенденция лучшей укореняемости микрочеренков у сорта Вируссааре (90,3 %) по сравнению с сортами Северянка (85,7 %) и Краса Севера (79,3 %).

5. Успешность адаптации микросаженцев сортов клюквы, независимо от количества оставленных листьев после удаления части побега, составляла 100 %. Обрезка побегов способствовала образованию большего количества боковых побегов и лучшему развитию надземной части растений.

6. Стерильную верхушечную часть побега после обрезки перед выведением микросаженцев на адаптацию можно использовать для дальнейшего размножения или корнеобразования *in vitro*. Данный прием позволяет повысить эффективность клонального микроразмножения.

Список литературы

1. Сафронова И. В., Гольдина И. А., Гайдуль К. В. Биологически активные компоненты клюквы и их применение в медицине. Инновации и продовольственная безопасность. 2015;(1):6-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24928157>
2. Божидай Т. Н. Микроразмножение *Vaccinium macrocarpon* Ait. Плодоводство: сб. научн. тр. Самохваловичи: РУП «Институт плодоводства», 2013. Т. 25. С. 549-553. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35039208>
3. Крышня С. В., Кордюков А. В. Клюква на юге острова Сахалин. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2018. 127 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38499445>
4. Курлович Т. В., Павловская А. Г. Требования к саженцам клюквы крупноплодной. Актуальные проблемы размножения ягодных культур и пути их решения: мат-лы Междунаро. научн.-метод. дистанц. конф. Мичуринск: Всероссийский научно-исследовательский институт садоводства им. И. В. Мичурина, 2010. С. 151-155.
5. Debnath S. C. Propagation and cultivation of *Vaccinium* species and less known small fruits. *Vaccinium* ssp. and less known small fruit: challenges and risks: international scientific conference. Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2009. Pp. 22-29. URL: <https://lufb.llu.lv/conference/agrvestis/content/n12/Latvia-Agronomijas-Vestis-12-2009-22-29.pdf>
6. Кухарчик Н. В. Получение посадочного материала плодовых и ягодных растений *in vitro*. Наука и инновации. 2019;6(196):17-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38514905>
7. Калашникова Е. А., Швец Д. А., Навроцкая Э. В., Киракосян Н. Р. Применение аэропоники для адаптации плодово-ягодных культур к условиям *ex vitro*. Лесохозяйственная информация. 2020;(2):109-118. DOI: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.09>
8. Ostrolucká M. G., Gajdošová A., Ondrušková E., Latečková M., Libiaková G. Effect of medium pH on axillary shoot proliferation of selected *Vaccinium vitis-idaea* L. Cultivars. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*. 2010;52(2):92-96. URL: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-0b33c6b6-0b01-4519-add2-3829e82487e8/c/13_ostrolucka.pdf
9. Березина Е. В., Агеева М. Н., Брилкина А. А., Веселов А. П. Содержание полифенолов в каллусных культурах клюквы болотной при модификации питательной среды цитокининами и препаратами микромицетов. Вестник защиты растений. 2016;3(89):6-27. Режим доступа: http://vizrspsb.ru/assets/docs/vestnik/2016/3/Vestnik_16-3-010_Berezina.pdf
10. Божидай Т. Н., Кухарчик Н. В. Результативность микроочеренкования в условиях *ex vitro* растений рода *Vaccinium* L. Плодоводство: сб. научн. тр. Минск: «Издательский дом «Белорусская наука», 2018. С. 181-185. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41426385>
11. Зонтиков Д. Н., Зонтикова С. А., Малахова К. В., Марамохин Э. В. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых полиплоидных форм рода *Vaccinium* L. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019;2(88):39-44. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39188892>
12. Леконцева Т. Г., Худякова А. В., Исаева А. Н., Федоров А. В. Оптимизация некоторых этапов микроклонального размножения чайно-гибридной розы сорта Анжелика. Вестник Пермского университета. Серия биология. 2017;(3):240-244. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30592244>
13. Худякова А. В., Леконцева Т. Г., Федоров А. В. Использование кремний содержащего препарата «силиплант» при микроклональном размножении плетистых роз. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Биология, Химия, Формация. 2019;(2):66-71. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38168281>
14. Березина Е. В., Носкова Ю. С., Агеева М. Н., Брилкина А. А., Веселов А. П. Морфологические особенности и синтез фенольных соединений и аскорбата микрорастениями клюквы крупноплодной при выращивании на питательных средах с разным минеральным, углеводным и гормональным составом. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2014;4(1):202-209. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23006254>
15. Емельянова Е. П. Влияние ауксинов на укоренение *in vitro* сортов *Vaccinium uliginosum* L. Известия Алтайского государственного университета. 2010;3-2(67):25-28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15608527>

References

1. Safronova I. V., Goldina I. A., Gaydul K. V. *Biologicheski aktivnye komponenty klyukvy i ikh primeneniye v meditsine*. [Biologically active components of cranberry and it's medical usade]. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'* = Innovations and Food Safety. 2015;(1):6-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24928157>

2. Bozhiday T. N. *Mikrorazmnozhenie Vaccinium macrocarpon Ait.* [Micropropagation of *Vaccinium macrocarpon* Ait.]. *Plodovodstvo: sb. nauchn. tr.* [Fruit growing: collection of scientific works]. Samokhvalovich: RUP «Institut plodovodstva», 2013. Vol. 25. pp. 549-553. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35039208>
3. Kryshnyaya S. V., Kordyukov A. V. *Klyukva na yuge ostrova Sakhalin.* [Cranberry in the south of Sakhalin island]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 2018. 127 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38499445>
4. Kurlovich T. V., Pavlovskaya A. G. *Trebovaniya k sazhentsam klyukvy krupnoplodnoy.* [Requirements for large cranberry seedlings]. *Aktual'nye problemy razmnozheniya yagodnykh kul'tur i puti ikh resheniya: mat-ly Mezhdunarod. nauchn.-metod. distants. konf.* [Actual problems of berry crops reproduction and ways to solve them: Proceedings of International scientific and practical Conference]. Michurinsk: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sadovodstva im. I. V. Michurina, 2010. pp. 151-155.
5. Debnath S. C. Propagation and cultivation of *Vaccinium* species and less known small fruits. *Vaccinium ssp. and less known small fruit: challenges and risks: international scientific conference.* Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2009. pp. 22-29. URL: <https://lufb.ltu.lv/conference/agrvestis/content/n12/Latvia-Agronomijas-Vestis-12-2009-22-29.pdf>
6. Kukharchyk N. V. *Poluchenie posadochnogo materiala plodovykh i yagodnykh rasteniy in vitro.* [Fruit and soft fruit plants propagation in vitro]. *Nauka i innovatsii = The Science and Innovations.* 2019;6(196):17-21. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38514905>
7. Kalashnikova E. A., Shvets D. A., Navrotskaya E. V., Kirakosyan N. R. *Primenenie aeroponiki dlya adaptatsii plodovo-yagodnykh kul'tur k usloviyam ex vitro.* [Application of aeroponics for adaptation of fruit and berry crops to ex vitro conditions]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya = Forestry information.* 2020;(2):109-118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.2.09>
8. Ostrolucká M. G., Gajdošová A., Ondrušková E., Latečková M., Libiaková G. Effect of medium pH on axillary shoot proliferation of selected *Vaccinium vitis-idaea* L. Cultivars. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica.* 2010;52(2):92-96. URL: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-0b33c6b6-0b01-4519-add2-3829e82487e8/c/13_ostrolucka.pdf
9. Berezina E. V., Ageeva M. N., Brilkina A. A., Veselov A. P. *Soderzhanie polifenolov v kallusnykh kul'turakh klyukvy bolotnoy pri modifikatsii pitatel'noy sredy tsitokininami i preparatami mikromitsetov.* [Polyphenolic contents in callus cultures of cranberry upon modification of culture medium with cytokinins and micromycetes formulations]. *Vestnik zashchity rasteniy = Plant Protection News.* 2016;3(89):6-27. (In Russ.). URL: http://vizrspsb.ru/assets/docs/vestnik/2016/3/Vestnik_16-3-010_Berezina.pdf
10. Bozhiday T. N., Kukharchik N. V. *Rezultativnost' mikrocherenkovaniya v usloviyakh ex vitro rasteniy roda Vaccinium L.* [Effectiveness of ex vitro microcutting of plants of the genus *Vaccinium* L.]. *Plodovodstvo: sb. nauchn. tr.* [Fruit growing: collection of scientific works]. Minsk: «Izdatel'skiy dom «Belorusskaya nauka», 2018. C. 181-185. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41426385>
11. Zontikov D. N., Zontikova S. A., Malakhova K. V., Maramokhin E. V. *Vliyanie sostava pitatel'nykh sred i regul'yatorov rosta pri klonal'nom mikrorazmnozhenii nekotorykh poliploidnykh form roda Vaccinium L.* [Influence of the composition of nutritional media and growth regulators during clonal micropropagation of some polyploid forms of the genus *Vaccinium* L.]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2019;2(88):39-44. (in Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39188892>
12. Lekontseva T. G., Khudyakova A. V., Isaeva A. N., Fedorov A. V. *Optimizatsiya nekotorykh etapov mikroklonal'nogo razmnozheniya chayno-gibridnoy rozy sorta Anzhelika.* [Optimization of some stages of microclonal propagation of a tea-hybrid rose of Angelika sort]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya biologiya = Bulletin of Perm University. Biology.* 2017;(3):240-244. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30592244>
13. Khudyakova A. V., Lekontseva T. G., Fedorov A. V. *Ispol'zovanie kremniy soderzhashchego preparata «siliplant» pri mikroklonal'nom razmnozhenii pletistyykh roz.* [The use of the silicone-containing preparation "siliplant" at clonal propagation of climbing roses]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya, Khimiya, Formatsiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy.* 2019;(2):66-71. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38168281>
14. Berezina E. V., Noskova Yu. S., Ageeva M. N., Brilkina A. A., Veselov A. P. *Morfologicheskie osobennosti i sintez fenol'nykh soedineniy i askorbata mikrorasteniyami klyukvy krupnoplodnoy pri vyrashchivani na pitatel'nykh sredakh s raznym mineral'nym, uglevodnym i gormonal'nym sostavom.* [American cranberry morphological peculiarities and phenolic and ascorbate synthesis while culturing on nutritional media with different mineral, carbohydrate and hormone composition]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod.* 2014;4(1):202-209. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23006254>
15. Emeljanova E. P. *Vliyanie auksinov na ukorenenie in vitro sortov Vaccinium uliginosum L.* [Auxins influence on in vitro rooting of varieties *Vaccinium uliginosum* L.]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta = Izvestiya of Altai State University.* 2010;3-2(67):25-28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15608527>

Сведения об авторах

✉ **Черемных Екатерина Николаевна**, младший научный сотрудник отдела интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9501-7726>, e-mail: e.cheremnykh@udman.ru

Леконцева Татьяна Германовна, научный сотрудник отдела интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6659-0504>

Худякова Анна Валерьевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник отдела интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0125-9335>

Федоров Александр Владимирович, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник отдела интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2759-2037>

Information about the authors

✉ **Ekaterina N. Cheremnykh**, junior researcher, the Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 34 T. Baramzinoj St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9501-7726>, e-mail: e.cheremnykh@udman.ru

Tatyana G. Lekontseva, researcher, the Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 34 T. Baramzinoj St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6659-0504>

Anna V. Khudyakova, PhD in Biological Science, researcher, the Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 34 T. Baramzinoj St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0125-9335>

Alexander V. Fedorov, DSc of Agricultural Science, chief researcher, the Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 34 T. Baramzinoj St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2759-2037>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Результаты мониторинга поврежденных градом посевов сои

© 2021. Н. И. Зайцев, В. Ю. Ревенко✉, Э. Г. Устарханова

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», г. Краснодар, Российская Федерация

Исследования по изучению влияния градобития на продуктивность агроценозов сои проводили в 2020 году. Сравнивали поврежденные и неповрежденные градом участки с одним и тем же сортом или сортообразцом сои. Анализ проводили по 60 вариантам (сортам и сортообразцам). Цель исследований состояла в оценке потерь урожайности, обусловленных следующими факторами: снижением плотности агроценоза, дефолиацией листовой поверхности, повреждением стеблей растений, погодными условиями в оставшийся период вегетации после градобития. В результате выявлено, что атмосферные осадки в виде града негативно отразились на продуктивности всех поврежденных участков, независимо от фенотипа и группы спелости выращиваемых на них сортов и сортообразцов. Дефолиация большей части листовой поверхности (от 70 до 80 %) и переломы стеблей привели к снижению средней урожайности в питомниках предварительного и конкурсного сортоиспытания с 1,85 до 1,34 т/га (на 27,6 %), на семеноводческих и производственных посевах – с 2,04 до 1,53 т/га (на 25,0 %). Усредненный показатель высоты неповрежденных растений составил к уборке 92,5 см, а поврежденных – 67,4 см. Фенологические наблюдения показали, что чем ближе к концу вегетации произойдет повреждение посевов сои градом, тем негативнее будут его последствия. Ни на одном из поврежденных участков не наблюдалось полегания растений. Не отмечено поражения агроценозов сои болезнями, несмотря на значительное скопление в междурядьях потенциально патогенной растительной массы. Вероятно, этому способствовали засушливые и ветреные погодные условия в оставшейся после градобития части вегетационного периода.

Ключевые слова: градобитие, дефолиация, повреждения стеблей, фазы вегетации, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (тема 0684-2019-0012).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зайцев Н. И., Ревенко В. Ю., Устарханова Э. Г. Результаты мониторинга поврежденных градом посевов сои. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):67-75. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.67-75>

Поступила: 19.11.2020

Принята к публикации: 19.01.2020

Опубликована онлайн: 22.02.2020

Results of monitoring hail-damaged soybean crops

© 2021. Nikolai I. Zaitsev, Valery Yu. Revenko✉, Elmira G. Ustarkhanova

V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK), Krasnodar, Russian Federation

Studies of the impact of hailstorm on the productivity of soybean agroecosystems were carried out in 2020. Hail damaged and undamaged areas sown with the same soybean variety or sample have been compared. The analysis was carried out on 60 variants (varieties and samples). The aim of the studies was to assess yield losses due to the following factors: reduced density of agroecosystem, leaf surface defoliation, damage to plant stems, weather conditions during the rest of the growing season after the hailstorm. It has been established that hail precipitation negatively affected the productivity of all damaged areas, regardless of the phenotype and ripeness group of varieties and samples. Defoliation of the most part of the leaf surface (from 70 to 80 %) and stems breaks led to decrease in the average yield in nurseries of preliminary and competitive variety testing from 1.85 t/ha to 1.34 t/ha (by 27.6 %), in seed and industrial sowings – from 2.04 to 1.53 t/ha (by 25.0 %). The average height of undamaged plants was 92.5 cm before harvesting, and 67.4 cm for damaged plants. Phenological observations showed that the closer to the end of the growing season the soybean crops are damaged by hail, the more negative the results. No plant lodging was observed at any of the damaged areas. There were no diseases affecting soybean agroecosystems, despite the significant accumulation of potentially pathogenic plant mass in the row spacing. This was probably due to dry and windy weather conditions during the rest of the growing season after the hailstorm.

Keywords: hailstorm, defoliation, stem damage, vegetation phases, yield

Acknowledgements: the research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Center «V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops» (theme No. 0684-2019-0012).

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

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

For citation: Zaitsev N. I., Revenko V. Yu., Ustarkhanova E. G. Results of monitoring hail-damaged soybean crops. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):67-75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.67-75>

Received: 19.11.2020

Accepted for publication: 19.01.2020

Published online: 22.02.2020

Сельскохозяйственное производство более чем другие отрасли экономики зависит от погодных условий. Опасные гидрометеорологические явления, в том числе осадки в виде града, оказывают негативное влияние на его эффективность. Мировые потери сельхозпродукции от градобития составляют более 11 миллиардов долларов в год, в том числе в Российской Федерации – около 740 млн. Причем данные по ущербу отображают только прямые потери агропромышленной продукции без учета стоимости этой продукции после переработки и реализации. Кроме того, они нередко являются ориентировочными из-за отсутствия точного учета [1, 2].

В России наибольшей градоопасностью отличаются Северный Кавказ, Алтайский край и юг Приморского края. В Северо-Кавказском регионе нередко градовые явления наблюдаются в южной части Краснодарского и Ставропольского краев, Карачаево-Черкессии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, где среднегодовое число дней с градом варьирует от 2 до 4 и более, а площади градобитий достигают от 8 до 16 % посевов сельскохозяйственных культур [3].

В Краснодарском крае градоопасными считаются: Лабинский, Отрадненский, южные части Курганинского и Новокубанского районов. В указанных районах град обычно выпадает «пятнами» или полосами, преимущественно во второй половине дня, в период максимального развития термической конвекции. Продолжительность выпадения града варьирует от десятков секунд до 90 мин, но в 90 % случаев в среднем составляет от 5 до 10 мин. При суперячейковых и многоячейковых процессах град выпадает в виде полосы шириной от 2 до 20 км, длиной до 100-200 км. При внутримассовых процессах град выпадает в виде отдельных пятен площадью от 0,1 до 20 км². По данным многолетних радиолокационных и наземных наблюдений (310 случаев), на Северном Кавказе длина градовых дорожек варьирует от сотен метров до 170 км при среднем значении около 20 км, а их ширина – от сотен метров до 30 км. Площадь выпадения града из одного градового облака колеблется от нескольких гектаров до нескольких десятков тысяч гектаров [4].

Размер градин в 70 % случаев составляет менее 20 мм, в 25 % случаев – от 20 до 30 мм и

в 30 % случаев наблюдается крупный град диаметром от 30 мм и более [5].

Плотность градин изменяется в широких пределах – от 0,20 до 0,93 г/см³, наиболее часто она составляет около 0,83 г/см³. На поверхности земли может наблюдаться выпадение в среднем около 1,5 тыс. градин на 1 м², начиная от одной до 47 тыс. градин [6]. Кинетическая энергия града в среднем составляет около 10 Дж/м², достигая в случае катастрофических градобитий 900 Дж/м², но в большинстве случаев не превышает 400 Дж/м² со степенью повреждения посевов от 20 до 60 % [7]. Обладая столь мощной и разрушительной силой, градины с легкостью перебивают стебли практически любых растений.

Повреждение посевов градом напрямую отражается на их продуктивности. Влиянию данного опасного природного явления на урожайность сельскохозяйственных культур посвящено немало исследований [8, 9, 10]. В части из них изучаются процессы восстановления посевов сои после градобития, как наименее устойчивых к повреждениям, наносимых градинами. Известны работы, ведущиеся в указанной области исследований в Западной Европе, США, Канаде, Китае и других регионах [11, 12]. Данные по РФ крайне немногочисленны и не систематизированы.

Анализ данных, имеющихся в открытых источниках, показывает, что снижение продуктивности посевов сои после градобития зависит от того, на какой фазе вегетации произошло повреждение растений, от характера повреждений и площади нанесенного ущерба. Наносимый градом ущерб – это, как правило, сочетание дефолиации листьев и поломки стеблей, которое впоследствии негативно отражается на дальнейшем росте и развитии растений. Так, по мнению канадских исследователей, если повреждение града ограничено дефолиацией только листьев в фазу развития 2-го или 3-го тройчатого листа, потери урожайности будут, скорее всего, минимальными [13]. Если происходит разрыв основного стебля растения, снижение продуктивности сои может быть высоким. В случае, если нетронутыми остались только семядольные листья, то повторный рост может произойти из подмышечных почек, но средняя ожидаемая потеря урожая составит около 45 %. Если остаются

семядольные и тройчатые листья (при 60-80 % повреждений стебля), можно ожидать 18-25 % потерь урожая. Наконец, если нарушаются только тройчатые листья (при 20-40 % стеблевых повреждениях), то ожидается минимальное снижение продуктивности. Рост возобновится с оставшегося верхнего листового узла. В самом неблагоприятном варианте, если растение срезано градиной ниже семядольных листьев – повторного роста сои не будет.

Исследования, проведенные в США, показали, что потенциальная потеря урожая на соевых полях, поврежденных градом, может быть результатом: уменьшения площади листьев, повреждений и ушибов растений, гибели стеблестоя [14]. Удаление 60-80 % узлов стебля на стадии 2-го тройчатого листа или 40 % узлов на стадии 6-го тройчатого листа наверняка отразится на потенциальной урожайности посевов сои. Тем не менее, поскольку растения данной зернобобовой культуры обладают неплохой способностью к восстановлению после града путем разветвления, потенциальная потеря урожая из-за сокращения вегетативной массы на ранних стадиях роста не должна вызывать особого беспокойства.

Приведенные выше рассуждения и рекомендации действительны для зон возделывания в США и Канаде. Возможно ли их использование в одной из наиболее градоопасных зон РФ – Северо-Кавказской? В рамках данной статьи попытаемся дать ответ на поставленный вопрос, проанализировав результаты оценки компенсационной способности поврежденных градом агроценозов сои к сохранению потенциала продуктивности в условиях юга России.

Цель исследований – оценить общие потери урожайности поврежденных градом посевов сои, обусловленные следующими факторами: снижением плотности агроценоза, дефолиацией листовой поверхности, повреждением стеблей растений, погодными условиями в течение оставшейся после градобития части вегетационного периода. А также изучить влияние указанного погодного фактора на возможное заражение поврежденных растений болезнями и полегание стеблестоя.

Материал и методы. Исследования по изучению влияния градобоя на продуктивность соевых посевов проводили в 2020 году в питомниках конкурсного и предварительно-

го сортоиспытания и на участках первичного семеноводства Армавирской опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. В отличие от зарубежных методик [15, 16], когда оценивают влияние степени искусственной дефолиации листьев (10 %, 20...100 % от общего количества) и принудительной поломки стеблей на урожайность сои, нами была проведена оценка влияния реального градобоя на исследуемый фактор.

В качестве контрольных брались делянки с неповрежденными растениями, находящимися на другом конце поля и не подверженные градобитию. Уникальность проводимых исследований состоит также в том, что влияние градобоя на продуктивность сои оценивалось не на одном-двух сортах, а на 60-ти сортах и сортообразцах самого разнообразного фенотипа и групп спелости. Статистическая обработка сопряженных парных наблюдений выполнена методом попарных сравнений (оценена существенность средней разности)¹.

Площадь каждой делянки в питомниках предварительного и конкурсного сортоиспытания составляла 28 м², питомника исходного материала – 14 м². Повторность делянок 4-кратная, размещение – рендомизированное. Размер делянок участка первичного семеноводства – 1,1 га. Закладку и анализ опытов проводили в соответствии с типовой методикой².

Технология возделывания сои – общепринятая для данной зоны [17]. Для защиты посевов от сорной растительности использовали зарегистрированные в РФ гербициды. Инсектициды не применяли. С целью получения более объективной оценки влияния градобития на продуктивность исследуемой культуры фунгицидные обработки не проводили, так как к негативным факторам, влияющим на урожайность, кроме дефолиации, относится также возможное заражение поврежденных растений болезнями.

Почва опытных участков – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый малогумусный, сформированный на лессовидном карбонатном тяжелом суглинке. Мощность гумусового горизонта составляет 90-120 см. Содержание гумуса в пахотном слое – от 4,2 до 4,8 %, в подпахотном – от 3,7 до 4,2 %. Общая скважность пахотного слоя 60-65 %, физической глины – до 40 %.

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М., 1985. 351 с.

²Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами. Под общ. ред. В. М. Лукомца. Краснодар: ООО РИА «АлВи-дизайн», 2010. 328 с.

Зона проведения исследований характеризуется неустойчивым, часто недостаточным увлажнением. Грунтовые воды залегают ниже 10 м и практического влияния на формирование урожая не оказывают.

Погодные условия в период вегетации сои в 2020 году отличались от среднесуточных значений большим количеством осадков в начальный период и практически полным их отсутствием в конце вегетации. Соответствующие гидротермические коэф-

фициенты в мае-июне составляли 2,02-1,77, августе и сентябре – 0,12-0,31. Последние цифры характерны для зоны аридного земледелия. Сумма активных температур за вегетацию была выше примерно на 10 % среднесуточного значения. В таких непростых, практически стрессовых погодных условиях происходило восстановление поврежденных градом посевов сои. Результаты метеонаблюдений сгруппированы по месяцам и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Погодные условия в зоне проведения исследований, 2020 г. /

Table 1 – Weather conditions in the research area, 2020 г.

Показатель / Indicator	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	За вегетацию / For the growing season
Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	16,3	22,4	25,6	23,5	21,9	3378,3
Среднесуточная температура воздуха, °C / Average long-term air temperature, °C	16,6	20,3	23,1	22,6	17,4	3062,3*
Количество осадков, мм / Precipitation, mm	102,1	119,0	75,3	8,8	21,0	326,2
Среднесуточное количество осадков, мм / Average long-term annual precipitation, mm	64,6	76,3	56,2	54,6	43,6	295,3
ГТК / GTK	2,02	1,77	0,95	0,12	0,31	0,97
ГТК среднесуточный / Average long-term GTK	1,26	1,25	0,78	0,78	0,83	0,96

*Сумма активных температур / Sum of active temperatures

Результаты и их обсуждение. Посев семян был проведен в 3-й декаде апреля. Недостаточные запасы продуктивной влаги в почве, накопленные за весенне-зимний период, и относительно холодная весна затянули процесс появления всходов. После выпадения обильных майских осадков вегетационная активность растений заметно повысилась. Переувлажнение верхнего слоя почвы не способствовало заглублению корней в нижние горизонты почвы, в результате от 80 до 90 % корневой системы локализовалось в слое 0-30 см.

Сильный град выпал 24 июня в фазы ветвления (для большинства образцов сои) и начала цветения (для сортообразцов ранней группы спелости) и полностью нарушил вегетационный цикл растений. Данный неблагоприятный погодный фактор – нередкое явление в зоне проведения исследований, но его интенсивность была значительно выше средней. Диаметр градин варьировал от 10 до 35 мм. Продолжительность выпадения града составила около 20 минут. Градовые явления сопровождалась обильными ливне-

выми осадками (по данным метеослужбы – 39 мм за несколько часов) и шквалистым ветром с максимальной скоростью до 24 м/с.

Высокая кинетическая энергия падающих градин и наклон растений под действием ветра привели к повреждению не только листовой поверхности, но и стеблей, которые были перебиты сразу в нескольких местах. В некоторых случаях от растений оставались только обломки главного стебля с потерей почти всего листового покрова. В результате стебли растений были сломаны, листовой аппарат уничтожен на 70-80 %, остаток неповрежденной вегетативной массы составил 20-30 % в зависимости от сортообразца. Уменьшилась и плотность стеблестоя, вследствие полной гибели некоторой части растений. Густота стояния снизилась на 10,5 %. Выживаемость растений к уборке в контроле составила 84,2 %, на поврежденных градом участках – 78,1 %.

Опавшей вегетативной массой была устлана вся поверхность почвы. Заметим, что данный факт и сильный наклон стеблей не позволили в дальнейшем провести междуряд-

ную культивацию с целью снижения количества патогенно опасных очагов. Вид селекционного поля был удручающим. Но, как было отмечено предыдущими исследователями, повреждения растений обычно выглядят хуже, чем есть на самом деле, особенно в первые несколько дней после градобития [13]. В результате последующих фенологических наблюдений выявлено, что рваные и измельченные листья, которые оставались зелеными и хоть немного были прикреплены к растению, продолжали процесс фотосинтеза. Следует отметить, что растения сои обладают исключительной способностью компенсировать уменьшение плотности агроценоза или существенное снижение листового аппарата. Они способны

разветвляться после дефолиации листьев и поперечных повреждений стеблей.

По нашим наблюдениям, если верхняя точка роста либо пазушные почки оставались нетронутыми после града, то вскоре появлялись новые ветви и листья, даже если град уничтожил почти всю надземную листву и некоторые узлы. В дальнейшем, несмотря на сильнейший стресс, растения сои постепенно распрямлялись и восстанавливались. Но данный процесс у различных сортов и сортовобразцов протекал по-разному. На рисунках 1 и 2 приведены результаты повреждения соседних делянок селекционного питомника, их состояние в фазу налива семян и перед уборкой.



Рис. 1. Восстановление растений сои линии ЛА-9-19 после градобития по фазам онтогенеза /
Fig. 1. Restoration of LA-9-19 line soya plants after the hailstorm according to ontogenesis phases



Рис. 2. Восстановление растений сои линии ЛА-10-19 после градобития по фазам онтогенеза /
Fig. 2. Restoration of LA-10-19 line soya plants after the hailstorm according to ontogenesis phases

Даже по внешнему виду незатруднительно определить, что урожайность линии ЛА-9-19 будет намного ниже, чем ЛА-10-19. В действительности, данный показатель в первом случае составил 0,65 т/га, а во втором – 1,44 т/га.

Поврежденные градом растения запаздывали с развитием относительно неповрежденных. В случае среза главного стебля, дальнейший компенсационный рост растения происходил за счет удлинения вверх боковых ветвей, но к концу созревания отставание в росте было ощутимым. Так, усредненный по 60-ти сортобразцам показатель высоты

растений питомников конкурсного и предварительного сортоиспытания к уборке составил 92,5 см у неповрежденных растений и 67,4 см – у поврежденных, при соответствующих высотах прикрепления нижнего боба 15,9 и 14,1 см.

Дальнейший мониторинг растений показал, что практически все нарушенные участки эпидермиса, кутикулы и колленхима успешно восстановились. Ушибы и даже переломы, нанесенные ударами градин, были окутаны перераспределенными лубяными волокнами и придали стеблям необходимую для дальнейшей вегетации прочность и упругость (рис. 3).



Рис. 3. Результат регенерации
поврежденной градом части стебля /
Fig. 3. Result of regeneration of the part
of the stem damaged by hail

Тем не менее, даже восстановившиеся после градобоя посевы сои существенно снизили свою продуктивность. Средняя урожайность на поврежденных градом делянках питомников предварительного (ПСИ) и конкурсного сортоиспытания (КСИ) составила 1,34 т/га против 1,85 т/га на нетронутых градом участках. Уровень снижения составил 27,6 % (рис. 4).

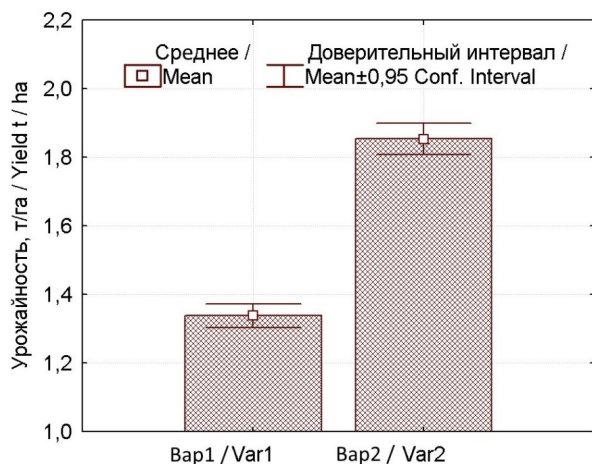


Рис. 4. Средняя урожайность сои на поврежденных (вариант 1) и неповрежденных (вариант 2) градом участках ПСИ и КСИ /

Fig. 4. Average yield of soybeans in areas damaged (variant 1) and undamaged (variant 2) by hail, of preliminary variety testing and competitive variety testing

Указанное снижение продуктивности посевов, возможно, объясняется следующей аргументацией. Каждое растение сои имеет от 6 до 20 узлов на главном стебле, 1-3 грозди цветков на каждом узле, 6-12 цветков на гроздь или 36-720 цветков на одно растение. Даже с учетом того, что к концу вегетации 65-75 % цветков и бобов погибают, оставшиеся соевые бобы должны ежедневно получать питательные вещества. Но у сои для хранения питательных веществ нет такого большого стебля или длинных листьев, как, например, у кукурузы, поэтому они полагаются на ежедневное питание, обеспечиваемое фотосинтезом той листовой поверхности, которая их окружает.

Каждая тройка листьев снабжает цветки и бобы на соответствующем узле. Поэтому тройчатые листья очень важны для растения сои. Если их нет, или их количество снижено из-за поврежденных и срезанных стеблей, то нет и полноценного питания растений. В пользу приведенных аргументов свидетельствуют пониженное количество бобов на поврежденных растениях (в среднем, вдвое ниже, чем в контроле) и в 2,25 раза меньший вес семян с одного растения.

В таблице 2 приведены результаты оценки средней урожайности сои по сортам, полученной с производственных и семеноводческих посевов, а также с делянок демонстрационных опытов. Как следует из табличных данных, от негативного воздействия осадков в виде града произошло существенное снижение урожайности сои (от 21,4 до 26,7 %) при среднем показателе – 25,0 %.

Таким образом, градовые процессы негативно отразились на продуктивности всех поврежденных участков, независимо от фенотипа и группы спелости выращиваемых на них сортов и сортообразцов сои. Дефолиация большей части листовой поверхности (от 70 до 80 %) и повреждение стеблестоя привели к недобору урожая в питомниках предварительного и конкурсного сортоиспытания в среднем на 27,6 %, на семеноводческих и производственных участках – на 25,0 %.

Полученные результаты оказались несколько выше аналогичных показателей, приведенных специалистами университета штата Небраска (США). По их данным, 50-процентная дефолиация листьев в фазу начала цветения может снизить показатели урожайности сои на 11 %, 80-процентная – на 20 %, 100-процентная – на 40 %. В фазу начала налива семян соответствующее снижение составит 15 %, 35 и 84 % [18]. То есть, чем ближе к концу вегетации произойдет повреждение стеблестоя сои градом, тем негативнее будут последствия.

Таблица 2 – Снижение урожайности сортов сои от градобития на производственных и семеноводческих посевах /

Table 2 – Decrease in the yield of soybean varieties due to hail damage in industrial and seed sowings

<i>Сорт / Variety</i>	<i>Урожайность на участках, т/га / Yield on areas, t/ha</i>		<i>Разность, т/га / Difference, t/ha</i>	<i>Процент снижения, % / Reduction percentage, %</i>
	<i>контрольных / control</i>	<i>поврежденных / damaged</i>		
Весточка / Vestochka	2,216	1,660	0,556	25,1
Зара / Zara	2,167	1,630	0,537	24,8
Парус / Parus	2,079	1,571	0,508	24,4
Кора / Kora	2,074	1,520	0,554	26,7
Дуар / Duar	1,936	1,411	0,525	27,1
Дуниза / Duniza	1,766	1,388	0,378	21,4
Среднее / Average	2,040	1,530	0,510	25,0
НCP ₀₅ / LCD ₀₅	-	-	0,071	-

Но, следует учесть, что в нашем случае исследовались последствия воздействия реального града на посевы сои, а не искусственной дефолиации листьев. Кроме того, засушливые условия конца вегетации также сыграли свою негативную роль в формировании потенциала продуктивности исследуемой зернобобовой культуры. Тем не менее, полученное в питомниках снижение урожайности сопоставимо с аналогичными показателями на семеноводческих и других участках, что позволяет судить об их объективности.

Результаты фенологических наблюдений за развитием поврежденных градом растений сои, а также зарубежный опыт страховых компаний дают основание для некоторых предварительных рекомендаций по методике оценки вероятного ущерба от градобития на посевах сои.

Оценить состояние точки роста можно вскоре после градовых осадков, но принимать решение относительно потенциальной урожайности поля преждевременно. Необходимо дать растениям некоторое время для восстановления. Начало роста листьев и отростков после града начинается через 5-8 дней. Чтобы более точно оценить возможные потери урожая, мониторинг посевов следует проводить через 8-12 дней после происшедшего негативного события. К этому времени можно будет намного точнее различать живые растения и растения, неспособные противостоять повреждению градом или последующему заражению болезнями. В процессе дальнейшей вегетации необходимо следить за возможным развитием болезней растений сои и их полеганием,

а также не допускать увеличения засоренности посевов, обусловленной повышенным прорастанием солнечного света в дефолированные участки и участки, открытые в результате наклона стеблей к поверхности почвы.

Тем не менее, ожидаемые потери урожая из-за повреждений и снижения плотности агроценозов будут лишь приблизительными. Точные данные об ущербе невозможно полностью определить до сбора урожая. Но, как правило, большинство сортов в результате дефолиации листьев на более поздних стадиях вегетации имеют меньше возможностей для компенсации потерь репродуктивных органов.

Таким образом, при проведении оценки потенциала продуктивности поврежденных градом посевов сои следует учитывать: степень дефолиации листовой массы, потерю части стеблестоя, количество ушибов и переломов стеблей, возможное заражение поврежденных растений болезнями, полегание растений в конце сезона, количество сорной растительности, климатические условия в течение оставшейся части вегетационного периода.

В дополнение следует отметить, что ни на одном из поврежденных участков нами не наблюдалось полегания растений. Также полностью отсутствовало поражение посевов сои болезнями, несмотря на значительное скопление потенциально патогенной растительной массы, оставшейся в междурядьях. В данном случае свою положительную роль сыграло отсутствие большого количества осадков в последующие фазы онтогенеза и широкие междурядья, способствующие пересыханию

опавшей листвы и её нейтрализации как источника патогенной микрофлоры. Кроме того, укрытие междурядий опавшими листьями позволило дольше сохранять почвенную влагу на открытых участках стеблестоя.

Заключение. Осадки в виде града негативно отразились на продуктивности всех поврежденных посевов сои. Дефолиация большей части листовой поверхности (от 70 до 80 %) и повреждение стеблей привели к недобору урожая в питомниках предварительного и конкурсного сортоиспытания в среднем на 27,6 %, на семеноводческих и производственных участках – на 25,0 %. Чем ближе к концу вегетации произойдет повреждение стеблестоя сои

градом, тем негативнее будут его последствия. Как правило, большинство сортов сои на поздней стадии вегетации имеют меньше возможностей для компенсации утраты репродуктивных органов и подвержены большему риску потери урожая в результате дефолиации листьев и тотального повреждения стеблей.

Потеря листовой массы, снижение густоты стояния, ушибы и переломы стеблей, возможное заражение поврежденных растений болезнями и условия окружающей среды в течение оставшейся части вегетационного периода являются основными факторами, влияющими на потенциал продуктивности сои после интенсивных осадков в виде града.

References

1. Púčik T., Castellano C., Groenemeijer P., Kühne T., Rädler A., Antonescu B., Faust E. Large Hail Incidence and Its Economic and Societal Impacts across Europe. *Mon. Wea. Rev.* 2019;147(11):3901-3916. DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0204.1>
2. Prein A., Holland G. Global estimates of damaging hail hazard. *Wea. Climate Extremes*. 2018;22:10-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.10.004>
3. Абшаев М. Т., Малкарова А. М. Оценка эффективности предотвращения града. СПб.: Гидрометеоздат, 2006. 280 с.
Abshaev M. T., Malkarova A. M. *Otsenka effektivnosti predotvrashcheniya grada*. [Evaluation of the effectiveness of hail preventing]. Saint Petersburg: *Gidrometeoizdat*, 2006. 280 p.
4. Абшаев М. Т., Абашев А. М., Барекова М. В., Малкарова А. М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. Нальчик: Печатный двор, 2014. 508 с.
Abshaev M. T., Abashev A. M., Barkov M. V., Makarov A. M. *Rukovodstvo po organizatsii i provedeniyu protivogradovykh rabot*. [Guide for the organization and conduct of hail preventive work]. Nal'chik: *Pechatnyy dvor*, 2014. 508 p.
5. Kumjian M. R., Lebo Z. J., Ward A. M. Storms producing large accumulations of small hail. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 2019;58(2):341-364. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0073.1>
6. Punge H. J., Kunz M. Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. *Atmos. Res.* 2016;176-177:159-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.012>
7. Heymsfield A. J., Giammanco I. M., Wright R. Terminal velocities and kinetic energies of natural hailstones. *Geophys. Res. Lett.* 2014;41(23):8666-8672. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GL062324>
8. Влияние опасных природных явлений на урожай сельскохозяйственных культур – как снизить его. Защита и карантин растений. 2016;(9):8-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26712040>
Vliyaniye opasnykh prirodnnykh yavleniy na urozhay sel'skokhozyaystvennykh kul'tur – kak snizit' ego. [The impact of natural hazards on crop yields - how to reduce it. Plant protection and quarantine]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2016;(9):8-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26712040>
9. Battaglia M., Lee C., Thomason W., Fike J., Sadeghpour A. Hail Damage Impacts on Corn Productivity. A Review. *Crop Science*. 2019;59(1):1-14. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0285>
10. Vollmer J., Johnson B. L., Deckard E. L., Rahman M. Evaluation of simulated hail damage on seed yield and agronomic traits in canola (*Brassica napus* L.) *Canadian Journal of Plant Science*. 2020;100(6):96. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0036>
11. Hager A. How might soybean yield be affected by hail damage? Department of Crop Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, June 24, 2016.
URL: <https://farmdoc.illinois.edu/field-crop-production/uncategorized/3668.html>
12. Goldblum D. Sensitivity of Corn and Soybean Yield in Illinois to Air Temperature and Precipitation: The Potential Impact of Future Climate Change. *Physical Geography*. 2009;30(1):27-42. DOI: <https://doi.org/10.2747/0272-3646.30.1.27>
13. Licht M., Sisson A., Mueller D., McGrath C. Hail on Soybean in Iowa. Iowa State University Extension and Outreach. IPM 0079. 2016. 1-8. URL: <https://store.extension.iastate.edu/product/14792>
14. Conley S., Pedersen P., Christmas E. Main-stem node removal effect on soybean seed yield and composition. *Agronomy Journal*. 2009;101(1):120-123. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0123>

15. Pavsek M., Shelton S., Holden Z., Weddell B. Impact of Canopy Destruction from Simulated Hail on Potato Yield and Economic Return. *American Journal of Potato Research*. 2018;95(1):33-44.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9612-2>

16. Sisson A. J., Kandel Y. R., Hart C. E., Asmus A., Wiggs S. N., Mueller D. S. Effect of foliar fungicide and insecticide on hail-damaged soybean. *Plant Health Prog.* 2016;17(2):141-148.

DOI: <https://doi.org/10.1094/PHP-RS-16-0012>

17. Инновационные технологии возделывания масличных культур. Под общ. ред. В. М. Лукомца. Краснодар: Просвещение-Юг, 2017. 256 с.

Innovatsionnye tekhnologii vozdeliyvaniya maslichnykh kul'tur. [Innovative technologies for cultivation of oil plants]. Pod obshch. red. V. M. Lukomtsa. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug. 2017. 256 p.

18. Klein R. N., Shapiro Ch. A. Evaluating Hail Damage to Soybeans. University of Nebraska Extension. EC128. 2011. URL: <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec128.pdf>

Сведения об авторах

Зайцев Николай Иванович, доктор с.-х. наук, врио директора, Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», пос. Центральной усадьбы опытной станции ВНИИМК, г. Армавир, Краснодарский край, Российская Федерация 352925, e-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2994-995X>

✉ **Ревенко Валерий Юрьевич**, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сои, Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», пос. Центральной усадьбы опытной станции ВНИИМК, г. Армавир, Краснодарский край, Российская Федерация 352925, e-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-5323>, e-mail: skskniish@rambler.ru

Устарханова Эльмира Гереевна, кандидат с.-х. наук, заведующая лабораторией селекции и семеноводства сои, Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», пос. Центральной усадьбы опытной станции ВНИИМК, г. Армавир, Краснодарский край, Российская Федерация 352925, e-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-4462>

Information about the authors

Nikolai I. Zaitsev, DSc in Agricultural Science, Acting Director, Armavir Experimental Station – a branch of the «Federal Scientific Center «V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops», settlement Central estate of the VNIIMK experimental station, Armavir, Krasnodar Territory, Russian Federation, 352925, e-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2994-995X>

✉ **Valery Yu. Revenko**, PhD in Engineering, leading researcher, Laboratory of Soybean Breeding and Seed Production, Armavir Experimental Station – a branch of the «Federal Scientific Center «V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops», settlement Central estate of the VNIIMK experimental station, Armavir, Krasnodar Territory, Russian Federation, 352925, e-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-5323>, e-mail: skskniish@rambler.ru

Elmira G. Ustarkhanova, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Soybean Breeding and Seed Production, Armavir Experimental Station – a branch of the «Federal Scientific Center «V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops», settlement Central estate of the VNIIMK experimental station, Armavir, Krasnodar Territory, Russian Federation, 352925, e-mail: stanciya-vniimk@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-4462>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО /
FODDER PRODUCTION<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84>

УДК 631.5: 631.6

**Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга**

© 2021. Д. А. Иванов✉, О. В. Карасева, М. В. Рублюк

ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

В работе показаны методы исследования банка данных мониторинга урожайности трав в пределах агроландшафта. Мониторинг урожайности разновозрастных (1, 2 и 3 годы пользования) злакобобовых травостоев проводили в 2001-2019 гг. на агроэкологическом полигоне, расположенном в пределах конечно-моренного холма в постоянных точках опробования на трансекте, пересекающей все основные микропозиции агроландшафта. Исследовали влияние особенностей различных ландшафтных структур (склонов разной экспозиции, ландшафтных выделов в их пределах и пестроты почвенного покрова) на динамику урожайности трав. Массив полученных данных обрабатывали методами *Variable Components Analysis*, главных компонент и корреляционного анализа. Показано, что на продуктивность трав достоверно влияют особенности ландшафта, агроклиматические условия года и возраст травостоя. На формирование пространственной пестроты урожайности трав в наибольшей степени влияет характер почвенного покрова ($\approx 21\%$), в меньшей степени особенности отдельных частей склонов ($\approx 17\%$). Установлено, что по мере старения травостоя наблюдается заметное увеличение влияния на пространственную вариабельность их продуктивности экспозиционного (с 3,4 до 8,0 %) и микроландшафтного (с 16 до 22 %) факторов и снижение влияния особенностей почвенного покрова (с 24 до 18 %). Выявлено, что динамика агроклиматических параметров заметно воздействует лишь на зависимость пестроты урожайности от экспозиционного фактора. Сделана попытка разделить годы исследований по характеру динамики урожайности трав на однородные в агроклиматическом отношении группы. Определено, что разные группы лет наблюдений отличаются по продуктивности и характеру ее пространственно-временной вариабельности, а также по факторам, их определяющим, и по условиям, влияющим на эти факторы. Это заставляет при процедуре прогнозирования урожайности трав разного возраста создавать математические модели ее зависимости от ландшафтных условий для временных кластеров.

Ключевые слова: многолетние травы, агроландшафт, трансекта, статистический анализ

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ) (тема №0651-2019-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(1):76-84.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84>

Поступила: 03.11.2020

Принята к публикации: 11.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Study of the dynamics of herbs productivity based on long-term monitoring data

© 2021. Dmitry A. Ivanov✉, Olga V. Karaseva, Maria V. Rublyuk

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The paper shows methods for studying the data bank for monitoring the yield of grasses within the agrolandscape. Monitoring of the yield of different-aged (1, 2 and 3 years of use) grass legumes was carried out in 2001-2019 at an agroecological test site located within a finite moraine hill at permanent sampling points on a transect that crosses all the main micropositions of the agricultural landscape. The influence of the features of various landscape structures (slopes of different exposure, landscape plots within their limits and the variegation of the soil cover) on the dynamics of grass yield was studied. The data array was processed using the methods of *Variable Components Analysis*, principal components, and correlation analysis. It is shown that the productivity of grasses is reliably influenced by the features of the landscape, agroclimatic conditions of the year and the age of the grass stand. The formation of the spatial variegation of the herb yield is most influenced by the nature of the soil cover ($\approx 21\%$), to a lesser extent by the features of individual parts of the slopes ($\approx 17\%$). It was found that with the aging of the herbage, there is a noticeable increase in the influence of exposure (from 3.4 to 8.0 %) and microlandscape (from 16 to 22 %) factors on the spatial variability of their productivity, and a decrease in the influence of soil

cover characteristics (from 24 to 18 %). It was revealed that the dynamics of agroclimatic parameters noticeably affects only the dependence of the variegated yield on the exposure factor. An attempt has been made to divide the years of research by the nature of the dynamics of the yield of grasses into agro climatically homogeneous groups. It has been determined that different groups of observation years differ in productivity and in the nature of its spatio-temporal variability, as well as in the factors that determine them and in the conditions that affect these factors. This makes, when predicting the yield of grasses of different ages, to create mathematical models of its dependence on landscape conditions for different time clusters.

Key words: *perennial grasses, agricultural landscape, transect, statistical analysis*

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 All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (theme No. 0651-2019-0005). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citations: Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V. Study of the dynamics of herbs productivity based on long-term monitoring data. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):76-84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84>

Received: 03.11.2020

Accepted for publication: 11.01.2021

Published online: 22.02.2021

Продукционный потенциал агроландшафтов, с точки зрения агрономии, оценивается, в основном, по усредненной урожайности культур. Однако урожайность культур определяется многими факторами, часто не зависимыми друг от друга – наряду с антропогенными (особенности агротехники), на нее воздействуют ландшафтно-почвенные особенности природной среды, а также параметры агроклиматических обстановок. Влияние последних на урожайность травостоя во многом определяет характер динамических процессов в геокомплексе [1]. Кроме почвенных условий и микроклиматических особенностей агроландшафта, растение учитывает также биоценоотические взаимоотношения с сорной растительностью и многое другое. Это приводит к значительной пространственно-временной пестроте урожайности, которая осложняет процесс определения истинного продукционного потенциала геосистемы [2].

Исследование характера этой пестроты позволяет выявить основные закономерности формирования продукционной способности агрогеосистемы, факторы ее определяющие, пределы ее колебаний и другие параметры, позволяющие характеризовать территорию по ее главному для человека критерию – возможности производить биомассу [3]. В наиболее общем виде эту проблему рассматривают географы и геоботаники. Исследования Н. Л. Беручашвили¹ показали, что в пределах ландшафта количество фитомассы может различаться на значения того же порядка, что и между различными географическими зонами. По данным Н. И. Базилевич, О. С. Гребенщикова и А. А. Тишкова [4], наблюдаются весьма

значительные различия по фитомассе в пределах катен, заложенных в различных зонах, несмотря на сравнительно однородные гидро-термические условия.

Процессы формирования урожая сельскохозяйственных культур в условиях различных элементов рельефа изучались многими российскими и иностранными авторами. Так, Р. Jiang и К. Thelen отмечали, что в условиях штата Мичиган совокупное воздействие как почвы, так и рельефа менялось в зависимости от года и объясняло от 28 до 85 % наблюдаемой изменчивости урожайности кукурузы и сои [5]. Н. И. Картамышев [6], заложивший на разных элементах рельефа (южный склон, водораздел и северный склон) в подготовленные траншеи с изолированными стенками гомогенную массу пахотного горизонта одной и той же почвы, показал, что в течение всего многолетнего опыта эффективное плодородие было наибольшим на южном склоне, средним – на водоразделе и наименьшим – на северном склоне. М. Г. Шарипов с соавторами в 1978 году установил, что урожай яровой пшеницы достоверно зависит от крутизны склона [7]. Большая подборка материалов о влиянии различных удобрений на произрастание культур в пределах склонов различной экспозиции дана в книге А. Н. Каштанова и В. Е. Явтушенко [8]. В работе Е. Н. Саввиной [9] описывается процесс изменения продуктивности культур плодосменного севооборота в пределах мезохолмов Клиско-Дмитровской гряды. Ею выявлено, что урожай картофеля, озимой пшеницы и многолетних трав уменьшался вниз по склону в 3-4, 2-3 и 1,5-2 раза соответственно.

¹Беручашвили Н. Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль, 1986. 182 с.; Беручашвили Н. Л. Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.

В неблагоприятные годы амплитуда колебания урожайности увеличивалась, особенно на более окультуренных почвах. В. И. Балакшина и М. Ф. Кононов в 1998 году убедительно показали сильную зависимость биометрических параметров и продуктивности с.-х. культур от экспозиции склона и относительной высоты [10]. К. Хейнеманн с соавторами установил, что введение сюжетно-инвариантных по времени параметров почвы и рельефа улучшило возможность проведения испытаний и моделирования эффективности обработки урожайных данных в рамках долгосрочных полевых испытаний [11]. Вопросам изменения продуктивности культур в пределах склонов различной формы и экспозиции посвящены исследования многих агроклиматологов² [12, 13]. Закономерное изменение урожайности они объясняют неравномерным распределением тепла и влаги.

В данной работе затронуты вопросы совместного влияния комплекса природных факторов (структурных элементов рельефа и почвенного покрова, климатических особенностей и возраста агроценоза) на характер пространственно-временной динамики урожайности многолетних трав. Знание особенностей пространственно-временной вариабельности урожайности культур позволяет разработать алгоритм ее прогнозирования во времени и пространстве, на основе которого могут быть созданы ландшафтно-мелиоративные системы земледелия различных территорий [14].

Современным методом исследования пространственно-временной вариабельности урожайности культур является ее долговременный мониторинг в пределах агроэкологических стационаров, наиболее полно выполняющийся в режиме ландшафтно-полевого опыта (ЛПО) [14].

Цель исследований – выявление факторов, определяющих особенности пространственно-временной динамики продуктивности разновозрастных травостоев в различных ландшафтных и агроклиматических условиях в пределах агроэкологического стационара ВНИИМЗ.

Материалы и методы. Долговременный мониторинг урожайности сена клеверотимофеечных травостоев 1, 2 и 3 г. п. проводили в 2001-2019 гг. на агроэкологическом стационаре Всероссийского научно-исследовательского института мелиорируемых земель, распо-

ложенном в пределах конечно-моренного холма в 4-х км к востоку от г. Тверь. Холм, относительной высотой 15 м, состоит из плоской вершины, северного пологого склона, крутизной 2-3°, южного более крутого склона (3-5°) и межхолмных депрессий (северной и южной) [15]. Почвообразующие породы на территории стационара – двучленные отложения. На южном склоне пахотные горизонты почв имеют песчаный и супесчаный гранулометрический состав, мощность легкого наноса местами превышает 1,5 м. На вершине и северном склоне пахотные горизонты сложены супесью и легким суглинком, мощность легкого кроющего наноса колеблется около 1 м, местами в межхолмной депрессии морена выходит на поверхность. В нашем опыте различия в экспозиции склонов определяют не только разницу в прогреве территории, но и неоднородность гранулометрического состава почв, что во многом определяется генезисом конечно-моренных образований³.

Почвенный покров представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, развивающихся на двучленных отложениях различной мощности [15]. Агрохимические параметры почв колеблются в следующих пределах: рН_{KCl} – от 4,9 до 5,7, гумус – от 1,5 до 3,0 %, K₂O – от 8,0 до 10,0 мг/кг, P₂O₅ – от 195 до 400 мг/кг, N_{лид} – от 22,4 до 42,2 мг/кг.

Исследования проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком поле, пересекающем все микроландшафтные позиции конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные агро-микроландшафты (АМЛ) нижних частей склонов и межхолмных депрессий, характеризующиеся аккумуляцией элементов питания из намывных и грунтовых вод; транзитные АМЛ, расположенные в центральных частях склонов, в которых господствует латеральный ток влаги; элювиально-транзитные местоположения верхних частей склонов, где наряду с латеральным током влаги присутствует ее вертикальное перемещение по почвенному профилю, и элювиально-аккумулятивный ландшафт вершины, в пределах которого происходит вертикальное промывание почвенного профиля и локальная аккумуляция влаги в микропонижениях (блюдцах).

²Гольцберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 300 с.

³Борзов А. А. Геоморфология Калининской области. Ученые записки МГУ. Вып. 23. М., 1938. С. 16-54.

Трансекта состоит из 7 продольных полос, каждая из которых засеяна отдельной культурой зернотравяного севооборота. Технология выращивания культуры однотипна по всей полосе. Разновозрастные клеверотимофеечные травостои, сеянными компонентами которых являются клевер красный (ВИК 7) и тимopheевка луговая (ВИК 9), располагаются на трех параллельных полосах, ширина каждой из них – 7,2 м, а длина – 1300 м. Травостои эксплуатируются в одноукосном режиме без внесения удобрений. Точки опробования, в которых определялась масса сена, равномерно расположены вдоль трансекты на расстоянии 10 м друг от друга.

Результаты мониторинга урожайности обрабатывали на основе пакетов STATGRAPHICS plus и STATISTICA 7. Применяли программу Variable Components Analysis, которая позволяет оценить зависимость вариативности урожайности травостоя за каждый год от условий разномасштабных структурных образований в пределах агроландшафта. Наиболее крупными частями в пределах конечно-моренной гряды являются склоны разной экспозиции. В пределах склонов располагаются агромикрорландшафты. Самыми мелкими структурными частями являются пятна почв разной степени заболоченности (гидроморфизма).

Для интерпретации результатов наблюдений использовали параметры агроклиматических обстановок в годы исследований как полученные в ходе мониторинга, так и заимствованные из базы данных Тверской метеостанции. В ходе работы использовались следующие агроклиматические показатели: 1. Влажность почв (% от объема почвы). 2. Сумма активных температур воздуха $\sum t > 10^\circ$. 3. Сумма осадков за вегетационный период, мм. 4. ГТК по Селянинову.

Для группировки годов исследований по агроклиматическим обстановкам применяли метод факторного анализа (описательный пакет STATISTICA 7), а именно метод главных компонент, способный разложить совокупность вариативности массива данных (в нашем случае показателей урожайности трав) на компоненты, ее определяющие, интерпретация их позволяет выявить основные факторы, от которых она зависит. Для изучения влияния агроклиматических условий на степень зависимости урожайности трав от характера природной среды ландшафтных структур использован метод корреляционного анализа.

Результаты и их обсуждение. Анализ данных долговременного мониторинга показал, что при экстенсивном использовании травостоев среднегодовалая продуктивность трав 1 и 2 г. п. достоверно не различалась (3,66 и 3,63 т/га сена соответственно). Травы 3 г. п. сформировали значительно меньший урожай сена – 2,77 т/га, что объясняется выпадением бобовых и внедрением в травостой сорных видов. Минимальная пространственная вариативность среднегодовых показателей урожайности наблюдалась на травах 2 г. п. ($V = 44,9\%$) вследствие относительного равновесия между бобовыми и злаками. В агроценозах с доминированием клевера или с его отчетливым недостатком пространственная вариативность урожайности выражена сильнее: на травах 1 г. п. – 50,8 %, 3 г. п. – 47,9 %.

Результаты обработки данных по продуктивности трав методом Variable Components Analysis показаны в таблице 1. Анализ данных таблицы 1 показал, что влияние разномасштабных структурных частей агроландшафта на пространственную вариативность урожайности травостоев в основном зависит от агроклиматических условий года и возраста травостоя. Максимальное воздействие на пространственную вариативность урожаев сена оказывают особенности почвенного покрова – его усредненное по травостоям значение $\approx 21\%$. Микрорландшафтные особенности конечно-моренной гряды в среднем определяют $\approx 17\%$ вариативности урожайности трав, а экспозиционный фактор только $\approx 6\%$.

Средние значения суммарных влияний структурных частей, которые отражают влияние ландшафта в целом на урожайность сена, заметно зависят от возраста травостоя. Старые травостои сильнее реагируют на особенности структурных факторов агроландшафта, чем зрелые и молодые. Коэффициенты вариативности суммарных влияний у трав 3 г. п. также заметно выше, что свидетельствует об их большей зависимости от агроклиматических условий.

По мере старения травостоя наблюдается заметное увеличение влияния на пространственную вариативность их продуктивности экспозиционного (с 3,4 до 8,0 %) и микрорландшафтного (с 16 до 22 %) факторов и снижение влияния особенностей почвенного покрова (с 24 до 18 %). Это обусловлено возникновением в разных частях агроландшафта обособленных агрофитоценозов, вследствие внедрения в травостой аборигенных видов, которые значительно сильнее приспособлены к местным условиям.

Таблица 1 – Влияние условий структурных частей агроландшафта на вариабельность урожайности многолетних трав, % /

Table 1 – Influence of conditions of different structural parts of the agricultural landscape on the variability of the yield of perennial grasses, %

Год / Year	Структурные элементы агроландшафта / Structural elements of the agricultural landscape											
	травы 1 г. п. / herbs 1 year of use				травы 2 г. п. / herbs 2 year of use				травы 3 г. п. / herbs 3 year of use			
	экспозиция / exposure	АМЛ / AML	почва / soil	сумма / total	экспозиция / exposure	АМЛ / AML	почва / soil	сумма / total	экспозиция / exposure	АМЛ / AML	почва / soil	сумма / total
2001	2,89	0,00	26,90	29,79	0,00	26,93	10,57	37,5	4,85	16,88	22,52	44,25
2002	8,47	12,08	16,74	37,29	0,00	0,00	25,03	25,03	7,45	41,17	0,00	48,62
2003	2,83	20,96	0,00	23,79	7,22	16,78	1,56	25,56	5,17	34,70	0,00	39,87
2004	7,24	14,82	0,00	22,06	0,00	0,00	46,33	46,33	0,00	0,00	23,03	23,03
2005	0,00	21,32	13,09	34,41	0,00	33,62	0,00	33,62	0,00	22,13	19,48	41,61
2006	0,00	60,35	0,00	60,35	0,66	0,33	45,48	46,47	2,49	0,00	25,66	28,15
2007	9,88	3,44	49,33	62,65	0,00	53,72	0,00	53,72	10,74	17,08	37,48	65,30
2008	0,00	7,32	21,59	28,91	38,09	12,62	21,36	72,07	14,96	21,07	18,65	54,68
2009	11,00	20,10	12,90	44,00	0,00	0,00	49,83	49,83	0,00	2,77	28,76	31,53
2010	0,00	7,92	52,47	60,39	1,81	0,00	28,45	30,26	5,66	31,59	14,14	51,39
2011	0,00	6,75	43,20	49,95	0,00	22,16	9,31	31,47	6,76	49,44	0,00	56,20
2012	0,00	0,00	30,12	30,12	9,69	1,81	21,69	33,19	0,00	0,00	7,66	7,66
2013	0,00	29,14	0,00	29,14	0,00	15,86	16,81	32,67	12,80	18,39	29,77	60,96
2014	0,00	18,86	35,63	54,49	4,64	5,56	39,00	49,20	34,15	9,73	33,25	77,13
2015	0,00	16,98	55,53	72,51	0,00	0,00	21,71	21,71	0,75	6,77	21,96	29,48
2016	0,00	10,75	21,64	32,39	18,47	0,66	22,71	41,84	18,36	0,00	29,59	47,95
2017	12,28	3,24	31,24	46,76	3,59	0,00	40,96	44,55	2,99	48,87	20,38	72,24
2018	7,72	26,40	15,76	49,88	9,22	41,31	19,99	70,52	16,17	40,33	0,90	57,40
2019	2,43	15,06	26,36	43,85	14,00	8,03	18,36	40,39	7,17	54,12	0,00	61,29
$\bar{x}$	3,40	15,60	23,80	42,80	5,70	12,60	23,10	41,40	7,90	21,8	17,50	47,30
V (%)	129,3	120,2	75,4	33,7	160,9	136,6	65,1	33,5	106,2	84,1	72,7	37,4

Годы исследований различались по агроклиматическим условиям, которые влияли на характер проявления пространственной вариабельности урожайности трав. Методом корреляционного анализа выявлено, что наименее чувствительными к изменениям агроклиматических условий являются травы 2 г. п., вследствие оптимального соотношения злаков и бобовых в их составе. Максимальная зависимость от агроклиматических условий года обнаружена у старых травостоев, в значительной степени образованных автономными фитоценозами, по-разному реагирующими на однотипные изменения погодных условий.

Степень влияния структурных отдельных агроландшафта на вариабельность урожайности трав в основном слабо зависит от

изменчивости агроклиматических параметров. На основе анализа корреляций выявлено, что характер и сила зависимости урожайности от экспозиции в определенной степени «подчиняется» временной динамике ГТК. На травах 1 г. п. при его увеличении наблюдается некоторое усиление влияния экспозиции на вариабельность урожая ($r = 0,47$)⁴. На травах 3 г. п. отмечена обратно пропорциональная зависимость – усиление влияния экспозиции на пространственную изменчивость продуктивности наблюдается в засушливые годы ($r = -0,44$). Увеличение влажности почвы иногда приводит к снижению суммарного влияния ландшафта на урожайность трав 1 и 3 г. п. ($r = -0,37$ и $r = -0,35$ соответственно). На травах 2 г. п. эти закономерности не проявляются.

⁴Достоверны коэффициенты корреляции > [0,3].

В отличие от корреляционного анализа, метод главных компонент позволяет получить комплексную оценку влияния совокупности

агрометеоусловий на продуктивность трав. На его основе созданы группы лет наблюдений для каждого травостоя (рис. 1).

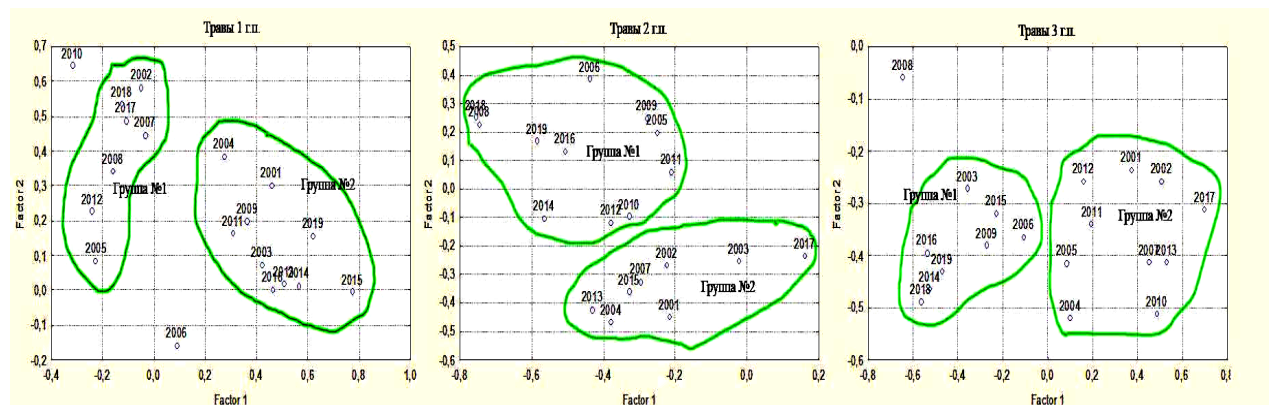


Рис. 1. Группы лет исследований по характеру воздействия агроклиматических условий на динамику урожайности трав /

Fig. 1. Grouping the years of research according to the nature of the impact of agro-climatic conditions on the dynamics of grass yield

Основным фактором объединения лет в группы на всех травостоях является многолетняя динамика суммы осадков и ее производная – вариабельность влажности почв. Первая группа лет на всех травах характеризуется повышенным фоном осадков и влажности почв. Это не всегда отражается на изменении ГТК, так как сумма температур изменяется иначе. Группы лет, в условиях каждого травостоя, достоверно различались по средней урожайности.

Из данных таблицы 2 видно, что на травах 1 г. п. группа, объединяющая влажные и прохладные годы (группа 1), характеризуется высокой и устойчивой средней продуктивностью, которая, по сравнению со второй группой, сильнее зависит от экспозиционного фактора и особенностей почвенного покрова. Степень воздействия экспозиции на продуктивность трав заметно зависит от характера динамик влажности почв и осадков ($r = -0,51$ и $-0,61$ соответственно)⁵.

Таблица 2 – Параметры групп урожайности трав /
Table 2 – Parameters of grass yield groups

Группа / Group	Урожайность / Productivity		Степень влияния структурных параметров, % / Degree of influence of structural parameters, %				Агроклиматические параметры / Agroclimatic parameters			
	$\bar{x}$, т/га / $\bar{x}$, t/ha	V, %	экспозиция / exposure	АМЛ / AML	почва / soil	сумма / total	влажность почв, % / soil moisture, %	осадки, мм / precipitation, mm	$\Sigma t > 10^\circ$	ГТК / GTK
Травы 1 г. п. / Herbs 1 year of use										
1	38,0	25,4	5,5	10,5	25,4	41,4	19,2	372,4	1954,9	1,73
2	31,2	28,3	2,6	15,3	22,2	40,2	16,7	333,8	2051,9	1,47
Травы 2 г. п. / Herbs 2 year of use										
1	30,2	26,8	8,8	11,5	25,1	45,4	18,3	368,2	2039,9	1,52
2	44,7	18,9	1,4	14,2	20,4	35,9	15,8	317,1	1934,4	1,58
Травы 3 г. п. / Herbs 3 year of use										
1	25,6	28,7	11,0	18,8	17,6	47,5	16,4	337,2	2031,8	1,45
2	30,0	25,7	10,5	18,6	17,5	46,6	15,7	323,1	2050,1	1,38

⁵ Достоверны коэффициенты корреляции $> [0,5]$.

Во второй группе также наблюдается сильная зависимость степени влияния экспозиционного фактора на урожайность от влажности почв и осадков ($r = 0,60$ и $0,82$), также на нее влияет и динамика ГТК ($r = 0,85$). От влажности почвы зависит и степень влияния особенностей почвенного покрова на урожайность ($r = -0,55$).

Увеличение осадков приводит к заметному снижению продуктивности трав 2 г. п. и к усилению ее пространственной вариабельности, при этом наблюдается возрастание влияния на нее экспозиции и характера почвенного покрова и, как следствие, суммы ландшафтных условий (табл. 2). В первой группе лет не обнаружено достоверного влияния метеофакторов на характер воздействия каких-либо структурных элементов ландшафта на урожайность трав. Во второй группе характер влияния экспозиции на продуктивность травостоя в определенной степени зависит от динамики ГТК ($r = 0,59$). Степени влияния суммы структурных частей на урожайность прямо пропорциональны осадкам ($r = 0,82$).

Минимальная дифференциация урожайности по группам лет отмечена на травах 3 г. п. Она также обусловлена некоторым усилением осадков и ростом ГТК, что приводит к незначительному росту влияния всех структурных элементов ландшафта на продуктивность (табл. 2). В первой и второй группах увеличение ГТК приводит к снижению влияния экспозиции склонов ($r = -0,54$) на вариабельность урожайности трав.

Все вышеизложенное позволяет усовершенствовать методологию создания ландшафтно-мелиоративных систем земледелия реальных хозяйств, основным моментом которой является прогнозирование урожайности культуры в конкретных природных условиях. Для этого, на основе мониторинговых наблюдений, проведенных на агроэкологическом стационаре, создается математическая модель продукционного процесса растения, которая, во-первых, позволяет определить факторы, наиболее сильно влияющие на урожайность культуры, а во-вторых, установить характер их влияния на урожайность. Зная особенности их пространственной вариабельности в пределах прогнозного хозяйства, близкого в ландшафтном отношении к условиям агроэкологического стационара, можно с помощью ГИС-технологий, на основе полученной математической модели, с определенной вероятностью предсказать урожайность культуры в его различных ча-

стях, что позволит адаптировать и другие элементы системы земледелия к его условиям.

Результаты выполненной работы показали, что математическая модель, разработанная на основе среднееголетних урожайных данных, не может адекватно прогнозировать урожайность культуры в пределах конкретного хозяйства. Различия групп лет наблюдений по многим параметрам заставляет рассматривать их как самостоятельные объекты в базе мониторинговых данных. При прогнозировании урожайности трав они должны быть использованы отдельно – для каждой группы годов должна создаваться собственная математическая модель, описывающая зависимость продуктивности от ландшафтных условий. Совокупность этих моделей позволит наиболее полно и корректно отразить динамику продуктивности трав в пределах прогнозного хозяйства.

Выводы. 1. Анализ полученных данных показывает, что на продуктивность трав в основном влияют особенности почвенного покрова (степень гидроморфизма почв), определяющие около 21 % пространственно-временной изменчивости урожайности, структурные особенности ландшафта (определяют почти 17 % вариабельности урожайности) и возраст травостоя (определяет в среднем от 14 до 16 % вариабельности урожайности). Учет этих обстоятельств при планировании мероприятий травосеяния в хозяйстве позволит получать высокие и устойчивые урожаи сена.

2. В процессе формирования пространственной вариабельности урожайности трав любого возраста доминирует микропестрота, зависящая от характера чередования пятен почв разной заболоченности (степени гидроморфизма). В меньшей степени изменчивость урожайности зависит от природных особенностей отдельных микроландшафтных выделов и менее всего на нее влияют условия отдельных склонов (около 6 %).

3. По мере старения травостоев наблюдается заметное увеличение влияния на пространственную вариабельность их продуктивности экспозиционного (с 3,4 до 8 %) и микроландшафтного (с 16 до 22 %) факторов и снижение влияния на нее особенностей почвенного покрова (с 24 до 18 %). Коэффициенты вариабельности суммарных влияний структурных частей ландшафта на урожайность трав 3 г. п. также заметно выше, что свидетельствует об их большей зависимости от агроклиматических условий. Наименее чувствительными к измене-

ниям агроклиматических условий травы 2 г. п., вследствие оптимального соотношения злаков и бобовых в их составе.

4. Степень влияния структурных особенностей агроландшафта на вариабельность урожайности трав в основном слабо зависит от изменчивости агроклиматических параметров. Выявлено, что динамика агроклиматических параметров заметно влияет лишь на зависимость пестроты урожайности от экспозиционного фактора (около 16 %). Характер зависимости урожайности трав 1 и 3 г. п. от экспозиции в значительной степени «подчиняется» временной динамике ГТК.

5. Разные группы лет наблюдений за урожайностью трав различного возраста отли-

чаются по продуктивности и характеру ее пространственно-временной вариабельности, а также по факторам, их определяющим, и по условиям, влияющим на эти факторы. Это заставляет, при процедуре прогнозирования урожайности трав разного возраста, создавать математические модели ее зависимости от ландшафтных условий для разных временных кластеров. При переносе результатов моделирования в условия реального хозяйства создаются прогнозные карты для конкретных агрометеобстановок. Совмещение этих карт в среде ГИС позволяет выявить прогнозные ареалы урожайности культуры, характеризующиеся определенной средней урожайностью и ее вариативностью во времени.

Список литературы

1. Bulgakov D. S., Rukhovich D. I., Shishkonakova E. A., Vil'chevskaya E. V. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(4):448-459. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>
2. Иванова Н. Н., Капсамун А. Д., Амбросимова Н. Н. Кормовая и средообразующая роль пастбищных травостоев в условиях осушаемых почв Центрального Нечерноземья. *Кормопроизводство*. 2019;(4):14-17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37275406>
3. Иванов Д. А. Виды динамики состояния мелиорированных агроландшафтов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;(4 (65)):4-18. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.04-18>
4. Базилевич Н. И., Гребенщиков О. С., Тишков А. А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с. Режим доступа: <https://ru.b-ok.com/book/3141531/5cc35e>
5. Jiang P., Thelen K. D. Effect of Soil and Topographic Properties on Crop Yield in a North-Central Corn-Soybean Cropping System. *Agronomy Journal*. 2004;96(1):252-258. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0252>
6. Картамышев Н. И. О законе формирования плодородия почвы. *Земледелие*. 2000;(4):44-45.
7. Шарипов М. Г., Ишемьяров А. Ш., Тайчинов С. Н. Рельеф в системе качественной оценки земель. *Почвоведение*. 1978;(7):42-48.
8. Каштанов А. Н., Явтушенко В. Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
9. Саввинова Е. Н. Агрономические особенности и продуктивность дерново-подзолистых почв на разных элементах рельефа. *Почвенно-агрономическое районирование и агрономическая характеристика почв основных районов СССР: научн. тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева*. М.: Мысль, 1982. С. 38-48.
10. Балакшина В. И., Кононов М. Ф. Рельеф и урожайность сельскохозяйственных культур. *Земледелие*. 1998;(2):14-16.
11. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the Effects of Soil Variability, Topography, and Management on the Yield of Barley. *Front. Environ. Sci*. 2018;6:146. URL: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00146>
12. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 279 с.
13. Романова Е. Н., Мосолова Г. И., Береснева И. А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 245 с.
14. Иванов Д. А., Ковалев Н. Г. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (прикладная агрогеография): монография. Тверь: издатель А. Н. Кондратьев, 2017. 310 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009621352>
15. Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Салихов Р. А., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Рублюк М. В. Создание ландшафтного полигона нового поколения. *Земледелие*. 1999;(6):15-16.

References

1. Bulgakov D. S., Rukhovich D. I., Shishkonakova E. A., Vil'chevskaya E. V. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(4):448-459. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040038>
2. Ivanova N. N., Kapsamun A. D., Ambrosimova N. N. *Kormovaya i sredoobrazuyushchaya rol' pastbishnykh travostoev v usloviyakh osushayemykh pochv Tsentral'nogo Nечernozem'ya*. [Forage and environment-forming potential of pasture grasses on the drainage land of the Central Non-chernozem region]. *Kormoproduktivost* = Forage Production. 2019;(4):14-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37275406>

3. Ivanov D. A. *Vidy dinamiki sostoyaniya meliorirovannykh agrolandshaftov*. [Types of dynamics of the state of meliorated agrolandscapes]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(4 (65)):4-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.04-18>
4. Bazilevich N. I., Grebenshchikov O. S., Tishkov A. A. *Geograficheskie zakonomernosti struktury i funktsionirovaniya ekosistem*. [Geographic patterns of the structure and functioning of ecosystems]. Moscow: Nauka, 1986. 297 p. URL: <https://ru.b-ok.com/book/3141531/5cc35e>
5. Jiang P., Thelen K. D. Effect of Soil and Topographic Properties on Crop Yield in a North-Central Corn-Soybean Cropping System. *Agronomy Journal*. 2004;96(1):252-258. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0252>
6. Kartamyshev N. I. *O zakone formirovaniya plodorodiya pochvy*. [On the law of the formation of soil fertility]. *Zemledelie*. 2000;(4):44-45. (In Russ.).
7. Sharipov M. G., Ishem'yarov A. Sh., Taychinov S. N. *Rel'ef v sisteme kachestvennoy otsenki zemel'*. [Relief in the land quality assessment system]. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1978;(7):42-48. (In Russ.).
8. Kashtanov A. N., Yavtushenko V. E. *Agroekologiya pochv sklonov*. [Agroecology of slope soils]. Moscow: Kolos, 1997. 240 p.
9. Savvinova E. N. *Agronomicheskie osobennosti i produktivnost' dernovo-podzolistykh pochv na raznykh elementakh rel'efa*. [Agronomic features and productivity of sod-podzolic soils on different relief elements]. *Pochvenno-agronomicheskoe rayonirovanie i agronomicheskaya kharakteristika pochv osnovnykh rayonov SSSR: nauchn. Tr. Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. [Soil-agronomic zoning and agroecological characteristics of soils in the main regions of the USSR: Scientific works of the Soil Science Institute. V. V. Dokuchaev]. Moscow: Mysl', 1982. pp. 38-48.
10. Balakshina V. I., Kononov M. F. *Rel'ef i urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. [Relief and productivity of agricultural crops]. *Zemledelie*. 1998;(2):14-16. (In Russ.).
11. Heil K., Heinemann P., Schmidhalter U. Modeling the Effects of Soil Variability, Topography, and Management on the Yield of Barley. *Front. Environ. Sci*. 2018;6:146. URL: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00146>
12. Romanova E. N. *Mikroklimaticheskaya izmenchivost' osnovnykh elementov klimata*. [Microclimatic variability of the main elements of the climate]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 279 p.
13. Romanova E. N., Mosolova G. I., Beresneva I. A. *Mikroklimatologiya i ee znachenie dlya sel'skogo khozyaystva*. [Microclimatology and its importance for agriculture]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 245 p.
14. Ivanov D. A., Kovalev N. G. *Landshaftno-meliorativnye sistemy zemledeliya (prikladnaya agrogeografiya): monografiya*. [Landscape-reclamation systems of agriculture (applied agrogeography): monograph]. Tver': izdatel' A. N. Kondrat'ev, 2017. 310 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009621352>
15. Ivanov D. A., Korneeva E. M., Salikhov R. A., Petrova L. I., Pugacheva L. V., Rublyuk M. V. *Sozdanie landshaftnogo poligona novogo pokoleniya*. [Creation of a new generation landscape polygon]. *Zemledelie*. 1999;(6):15-16. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Иванов Дмитрий Анатольевич**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», д. 7, стр. 2, Пыжевский пер., г. Москва, Российская Федерация, 119017, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>, e-mail: volok234@yandex.ru

Карасева Ольга Васильевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», д. 7, стр. 2, Пыжевский пер., г. Москва, Российская Федерация, 119017, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Рублюк Мария Владимировна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», д. 7, стр. 2, Пыжевский пер., г. Москва, Российская Федерация, 119017, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

Information about authors

✉ **Dmitry A. Ivanov**, DSc in Agricultural science, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, professor, chief researcher, Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7, bld. 2, Pyzhevsky per., Moscow, Russian Federation, 119017, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-272X>, e-mail: volok234@yandex.ru

Olga V. Karaseva, PhD in Agricultural science, senior researcher, Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7, bld. 2, Pyzhevsky per., Moscow, Russian Federation, 119017, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

Maria V. Rublyuk, PhD in Agricultural science, senior researcher, Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 7, bld. 2, Pyzhevsky per., Moscow, Russian Federation, 119017, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.85-92>

УДК 631.4+579.6



Molecular and biological characteristics of streptomyces diversity in the soils of the Saxaul forest in Mongolia

© 2021. Jadambaa Norovsuren¹✉, Liu Shao-Wei², Sun Cheng-Hang², Batbaatar Altansukh³, Chimidnyam Dorjsuren³

¹The Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia,

²Institute of Medicinal Biotechnology, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing, China,

³The Botanic Garden and Research Institute, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

Saxaul (Haloxylon ammodendron) is a plant with a wide ecological range that forms forests in Mongolia often used as pastures for camels. Actinomycetes were isolated from the soils of the saxaul forest using selective isolation methods. According to the results of phylogenetic analysis based on the sequences of the 16S rRNA gene fragment, it has been established that the obtained isolates belong to the Streptomyces genus. According to the taxonomic position, strains (M41; M42; M 43; C 4-46; C 4-47; C 4-50; M44; C 5-54; C5-60 and C 5-63) demonstrate a high level of similarity (99.20- 100 %) of 16S rRNA gene sequences with type strains of the following species: S. fradiae, S. huasconensis, S. coeruleoprunus, S. tendae, S. rubrogriseus, S. malachitofuscus, S. flavoviridis, S. pilosus, S. caelestis, S. azureus, S. fulvissimus, S. microflavus, S. griseus subsp. griseus, S. anulatus, S. cyaneofuscatus, S. luridiscabiei, S. halstedii, S. fulvorobeus, S. pratensis, S. setonii, S. anulatus, S. pratensis, S. caelestis and S. azureus.

Key words: Saxaul (*Haloxylon ammodendron*), actinomycetes, phylogenetic analysis

Acknowledgments: the work was supported by the CAMS Innovation Fund for Medical Sciences (Grant No. CAMS 2017-12M-B & R-08) and by the Grant of the Mongolian Academy of Sciences 2018/10/

The authors thank Nikitina E. P., the junior researcher of The Baikal Institute of rational nature management SB RAS for her participation in the research.

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

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

For citation: Norovsuren J., Shao-Wei Liu, Cheng-Hang Sun, Altansukh B., Dorjsuren Ch. Molecular and biological characteristics of streptomyces diversity in the soils of the Saxaul forest in Mongolia. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(1):85-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.85-92>

Received: 14.01.2021

Accepted for publication: 18.02.2021

Published online: 22.02.2021

Молекулярно-биологическая характеристика разнообразия стрептомицетов в почвах саксаулового леса Монголии

© 2021. Норовсурэн Ж¹ ✉, Shao-Wei Liu², Cheng-Hang Sun², Алтансукх Б.³, Доржсурэн Ч.³

¹Институт биологии Академии наук Монголии, г. Улан-Батор, Монголия,

²Институт медицинской биотехнологии, Китайская академия медицинских наук и Медицинский колледж Пекинского союза, г. Пекин, Китай,

³Институт Ботанического сада Академии наук Монголии, г. Улан-Батор, Монголия

Саксаул (Haloxylon ammodendron) – растение с широким экологическим диапазоном, формирует в Монголии леса, которые используются как пастбища для верблюдов. Из почв саксаулового леса с помощью селективных приемов выделены актиномицеты. По результатам филогенетического анализа на основе последовательностей фрагмента гена 16S рРНК установлено, что полученные изоляты относятся к роду Streptomyces. По своему таксономическому положению штаммы (M41; M42; M 43; C 4-46; C 4-47; C 4-50; M44; C 5-54; C5-60 и C 5-63) демонстрируют высокий уровень (99,20-100 %) сходства последовательностей гена 16S рРНК с типовыми штаммами видов: S. fradiae, S. huasconensis, S. Coeruleoprunus, S. tendae, S. rubrogriseus, S. malachitofuscus, S. Flavoviridis,

S. pilosus, *S. caelestis*, *S. azureus*, *S. fulvissimus*, *S. microflavus*, *S. griseus* subsp. *griseus*, *S. anulatus*, *S. cyaneofuscatus*, *S. luridiscabiei*, *S. halstedii*, *S. fulvorubeus*, *S. pratensis*, *S. setonii*, *S. anulatus*, *S. pratensis*, *S. caelestis* и *S. azureus*.

Ключевые слова: саксаул (*Haloxylon ammodendron*), актиномицеты, филогенетический анализ

Благодарности: работа выполнена при поддержке инновационного фонда CAMS для медицинских наук (грант № CAMS 2017-12M-B & R-08) и гранта Академии наук Монголии 2018/10.

Выражаем благодарность младшему научному сотруднику Е. П. Никитиной Байкальского института природопользования СО РАН за её участие в наших исследованиях.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Норовсүрэн Ж., Shao-Wei Liu, Cheng-Hang Sun, Алтансүх Б., Доржсүрэн Ч. Молекулярно-биологическая характеристика разнообразия стрептомицетов в почвах саксаулового леса Монголии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):85-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.85-92>

Поступила: 14.01.2021

Принята к публикации: 18.02.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Saxaul forests are among the most widespread plant communities of the Gobi Desert in Mongolia, where they occupy about 2 mln. hectares [1]. *Haloxylon ammodendron* (Saxaul) is a plant species with a broad ecological range. Communities of this species mainly inhabit the following habitats: 1) stony deserts, or hamadas, 2) dried beds of temporary rivers (sairs), 3) sandy deserts, 4) depressions, or takyr [2]. For the first time the classification of saxaul pastures in Mongolia was shown in the work "Natural forage resources of Mongolia". Tsatsenkin and Yunatov [3, 4] wrote a note about the saxaul of Mongolia, where they examined in detail the geography and ecology of the saxaul forests of Mongolia. *Haloxylon* spp. lives up to 30-60 years [2], rarely up to 50-60 years. Saxaul forests are used mostly as pastures for camels. In the practice of preserving, *Haloxylon* spp. to a large extent performs the function of sand fixation in deserts and semi-deserts. *Haloxylon* spp. is a highly hardy plant that can survive extreme drought, unbearable heat.

Prevention of soil erosion, habitat creation, drought resilience and other support services of saxaul forest can directly or indirectly benefit local communities and land users.

Desert and semi-desert soils occupy more than 1/3 of the territory of Mongolia. They extend mainly southwards of 45 °-46 ° N.

The change in climatic conditions and vegetation cover in the direction from north to south is accompanied by a change of soils: semi-deserts with brown arid desert-steppe soils turn into steppe deserts with pale-brown soils, and then into real deserts with gray-brown soils, and finally, into extremely arid.

Actinomycetes, in comparison with other bacteria, are more resistant to soil drying [5]. Ex-spores of streptomycetes retain viability under conditions of complete drying. In the soils of arid regions, actinomycetes occupy a significant place in the complex of prokaryotic organisms [6].

Mongolia has a unique and pristine ecosystem rich in natural biodiversity, which attracts foreign research groups to investigate it.

Therefore, it is very important for our microbiologists to isolate, search and identify biodiversity of actinomycete isolate from unexplored sites of natural substrates in the Mongolian microbial database.

Hence, there is a strong interest to investigate separate species of actinomycetes in the soils of unexplored sites of the saxaul forest of Mongolia.

The aim of the work is to identify actinomycetes in the soils of the saxaul forest of Mongolia and to determine the 16S rRNA sequences of their individual representatives.

Materials and methods. Actinomycetes were isolated from two soil samples of a saxaul forest (*Haloxylon ammodendron*) in Mongolia. The sampling sites are located at (place Naran N43.470 25°E100.427 12° a.s.l. 1461 m) Gurvan Tes Somon of South Gobi (place: IngeniKhobur Hooloy N43.92406°E 099.78039° a.s.l. 1113 m) and Shinejinst Somon of Bayankhongor aimag. Both samples were collected from dried beds of temporary rivers (sairs) and were taken from the upper soil horizon (5-15 cm).

To isolate actinomycetes, we used the method of surface inoculation from dilutions of soil suspensions on solid nutrient media – HVA medium [7] and medium with sodium propionate [8]. Before inoculation, the soil samples were dried at 120 ° C for 1 hour.

Nystatin (50 mg / ml) was added to the media to restrict the growth of fungi and nalidixic acid (5 mg / ml) to restrict the growth of non-mycelial bacteria. The platings were incubated for 28-30 days at of 28°C. To isolate actinomycetes into a pure culture and further cultivation, the following media were usually used: oat agar, Gause 1 [9] and ISP 2 [10].

Identification of the isolated strains was carried out according to the Bergey identifier of

bacteria [11]. The chemotaxonomic features of actinomycetes were noted: the presence of whole cells of LL- or meso-DAP and diagnostic sugars in the hydrolysates [12].

The Genomic DNAs for the analysis of 16S pPHK gene sequence were extracted as described by Li *et al* [13]. The 16S rRNA gene was amplified by PCR using two universal primers 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') and 1492R (5'-GGTACCTTGTTACGACTT-3') according to the method described by Liu *et al*. [14]. PCR products were purified and then sequenced in the company SangonBiotechCo. Ltd (Shanghai, China). Amplification of DNA included the following stages: initial denaturation at 95 °C for 5 min, the next 35 cycles: 94 °C for 1 min, 55 °C for 1 min, and 72 °C for 2 min, and the final stage of chain extension of 10 min at 72 °C. The belonging of strain at the genus level was confirmed by the EzBioCloud database (<https://www.ezbiocloud.net/identify>) [15] and the BLAST tool in the GenBankNCBI database (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

The corresponding sequences of closely related type species were obtained from the GenBank database. Multiple alignments were made

using the Clustal_X tool in MEGA version 7.0 [16]. Phylogenetic tree based on the neighbor-joining algorithm [17] was constructed under the Kimura's two-parameter model [18] with 1000 repetitions of the initial loading.

The bootstrap method (1000 alternative trees) [19] was used to assess the stability of the topology of the obtained trees.

The nucleotide sequences of the 16SrRNA gene of the isolated strains were deposited in GenBankNCBI with individual accession numbers assigned to the cultures: C4-46 (MN566943); C4-47 (MN566944); C4-50 (MN566945); C5-54 (MN566946); C5-60 (MW192806); C5-63 (MN566947); 41M (MN566987); 42M (MN566988); 43M (MN566989) и 44M (MN566990).

Results and discussion. According to our early data, the Bayanzag Bulgan somon of the South Gobi aimag of Mongolia is located in the soils of the saxaul forest. The total number of actinomycetes in these soils was 2.1×10^4 CFU / g soil [20, 21].

The total number of actinomycetes in the studied soil was 6.6×10^3 – 3.2×10^4 CFU / g soil on HVA, and 3.0×10^3 – 7.2×10^3 CFU / g soil on the medium with sodium propionate (fig. 1).

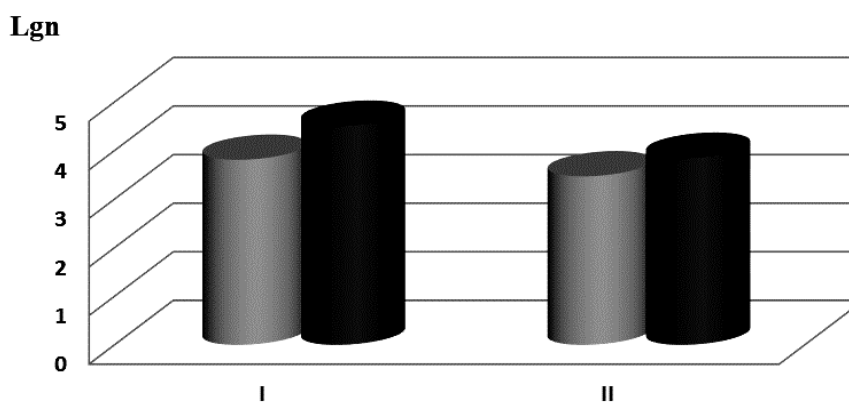


Fig. 1. Total number of actinomycetes (Lgn): I – Medium with sodium propionate. II – HVA. Soils: 1 – brown desert soil; 2 – gray-brown desert soil /

Рис. 1. Общая численность актиномицетов (Lgn): I – Среда с пропионатом натрия; II – HVA. Почвы: 1 – бурая пустынная почва; 2 – серобурая пустынная почва

There were 640 recognized species in the genus *Streptomyces* [22]. Sixty-seven strains were isolated from the studied soils. LL-diaminopimelic acids were present in whole-cell hydrolysates of the isolates. By their morphological properties and chemotaxonomic characteristics, the isolated strains were identified as representatives of the genus *Streptomyces*.

According to our early data, two isolates of actinomycetes, *Micromonospora chalcea* pcs. 98

and *Actinomadura aurantiaca* pcs. 107 were isolated from the semidesert soil (Bayanzag site) Bulgan Somon of the South Gobi aimag (Mongolia) [21]. These two strains were more adapted to the effect of low humidity than actinomycetes isolated from soils of other types of typical chernozem and peaty – podzolic profile – gleyed soil [23, 24].

On the basis of phenotypic traits and nucleotide sequences of 16S rRNA gene fragment, the strains isolated from brown desert soil were

identified as follows: strain M 41 was identified as closely related to strain *Streptomyces fradiae* DSM 40063^T (AB184134) 99.56 %, strain M42: *Streptomyces huasconensis* DSM 107268^T (KDX130268); strain M 43: *Streptomyces coeruleoprunus* VKM Ac-1208^T (AB184651) 99.64 %; strain C4-46 was identified as closely related to strains *Streptomyces tendae* ATCC 19812^T

(D63873) 99.46 % and *Streptomyces rubro-griseus* DSM 41477^T (AB184681) 99.46 %, strain C 4-47 was identified as closely related to strain *Streptomyces malachitofuscus* JCM 4493^T (MT760556) 99.36 %; C4-50 was identified as closely related to *Streptomyces flavoviridis* ATCC 19759^T (MT760523) 99.20 % and *Streptomyces pilosus* DSM 40097^T (MT760541) 99.20 % (fig. 2).

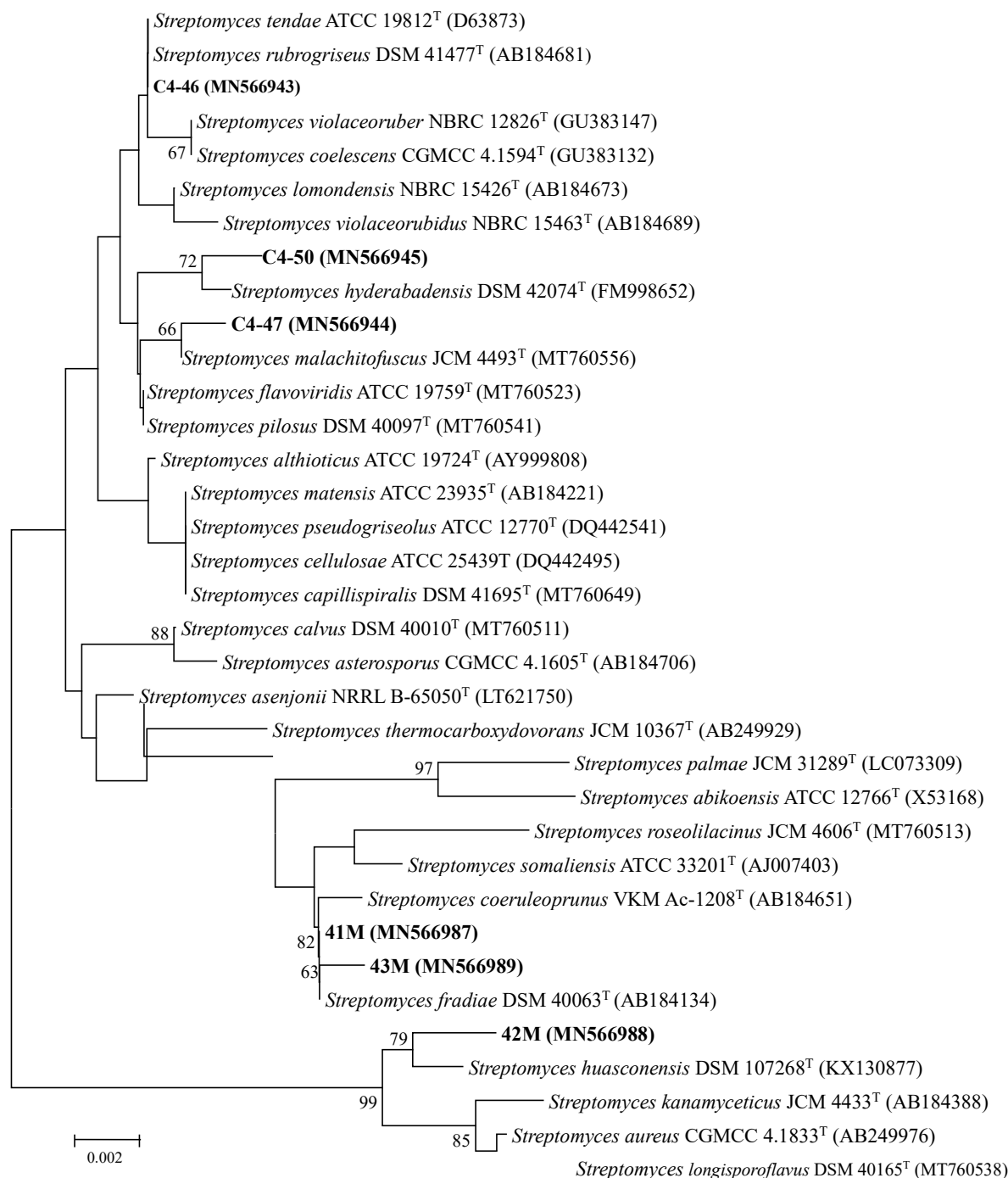
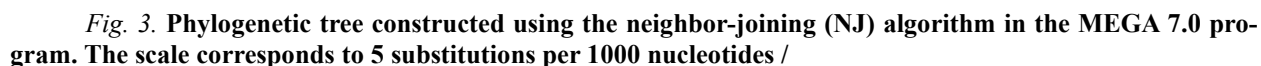


Fig. 2. Phylogenetic tree constructed using the “neighbor-joining” (NJ) algorithm in the MEGA 7.0 program. The scale corresponds to 2 substitutions per 1000 nucleotides /

Рис. 2. Филогенетическое дерево, построенное с использованием алгоритма «neighbor-joining» (NJ) в программе MEGA 7.0. Масштаб соответствует двум нуклеотидным заменам на 1000 нуклеотидов

Streptomyces halstedii ATCC 10897^T (EF178695) 99.88 %, *Streptomyces fulvoroebus* DSM 41455^T (AB184711) 99.88 % and *Streptomyces pratensis* CGMCC 4.6829^T (JQ806215) 99.88 %; strain C5-60 was identified as closely related to strain *Streptomyces setonii* AS 4.1367^T (AB184300) 100 %, *Streptomyces anulatus* ATCC 27416^T (DQ026637) 100 % and *Streptomyces pratensis* CGMCC 4.6829^T (JQ806215) 100 %; strain C5-63 was identified as closely related to strain *Streptomyces caelestis* ATCC 14924^T (X80824) 99.88 % and *Streptomyces azureus* ATCC 14921^T (EF178674) 99.88 % (fig. 3).



Actinomycetes play an important role in plant biotechnology, as strains with antagonistic activity against plant pathogens are useful for biological control. Actinomycetes produce secondary biologically active metabolites, which include antibiotics, antineoplastic agents, immunosup-

pressants, and enzymes. These metabolites have antibacterial, antifungal, antioxidant, neuritogenic, anticancer, antitumor properties.

About half of the world's population is infected by *Helicobacter pylori*, which is related to various diseases. Increased resistance of

H. pylori to antibiotics is alarming and requires searching for new drugs.

According to Eftekhariavash et al. [25] *S. cirratus* metabolites UTMС 3318 and *Streptomyces* UTMС 3061 has shown limited eukaryotic toxicity and good synergy with clarithromycin, the drug currently used to treat *H. pylori*.

Also, according to Arai et al. [26] during the screening of inhibitors of migration of breast cancer cells, we isolated two new compounds, migracins A and B, from the culture broth of *Streptomyces* MI 264-NF2. Their structures are related to the luminacins previously isolated from *Streptomyces*.

Migracins A and B suppressed the migration of breast cancer cells, which was monitored by a wound healing assay with IC₅₀ values of 1.31 and 1.99 µg / ml (with IC₅₀ values of 1.31 and 1.99 lgml⁻¹), respectively, in MDA-MB-231 human breast carcinoma cells without showing any cytotoxicity. Migracins also suppressed the migration of human lung adenocarcinoma A549 cells and human fibrosarcoma HT-1080 cells. Consequently, migracins can become new inhibitors of cancer metastasis.

Conclusion. It was shown that the genus *Streptomyces* and the results of phylogenetic analysis were based on the sequences of the 16SrRNA gene fragment in the studied soils of the Saxaul forest.

The study of the number and taxonomic composition of streptomycetes in the soils of the Saxaul forest of Mongolia allows us to conclude that the complexes of soil streptomycetes reflect the originality of natural conditions and specific features of the country's soils, and can serve as an indicator of the state and nature of the desert ecosystems of Mongolia.

Actinomycetes continue to play a very important role in drug discovery and development. Actinomycetes account for up to 80 % of the world's antibiotics, usually derived from the genera *Streptomyces* and *Micromonospora*. *Streptomyces* were recognized as the most productive producers of bioactive metabolites with a wide range of beneficial effects.

The diverse *Streptomyces* identified can serve as the basis for developing new practically valuable antibiotics, that can be used in medicine as well as for the creation of environmentally friendly biological products in agriculture.

References

1. Dorzhsuren Ch. *Antropogennyye suksessii v listvennichnykh lesakh Mongolii: monografiya*. [Anthropogenic successions in leafy forests of Mongolia: monograph]. Moscow: *Izd-vo Instituta problem ekologii i evolyutsii im. A. N. Severtsova*, 2009. p. 209.
2. Gal Zh. *Ob izuchenii saksaulovykh pastbishch i ikh botanicheskie kharakteristiki*. [On the study of saxaul pastures and their botanical characteristics]. *Trudy instituta biologii AN MNR*. 1969;(3):177-191. (In Mongolia).
3. Tsatsenkin I. A., Yunatov A. A. *Estestvennye kormovye resursy Mongol'skoy narodnoy respubliki. Vostochnaya chast' Gobi*. [Natural food resources of the Mongolian People's Republic. The eastern part of the Gobi]. *Trudy mongol'skoy komissii*. [Proceedings of the Mongolian Commission]. Moscow: *izd-vo ANSSR*, 1951. Iss. 40. 350 p.
4. Yunatov A. A. *Zametki o saksaul v Mongolii*. [Notes on saxaul in Mongolia]. *Uchenye zapiski Mongol'skogo GU*. Ulan – Bator, 1946. Iss.1. pp. 93-97. (In Mongolia).
5. Kalakutskiy L. V., Agre N. S. *Razvitie aktinomitsetov*. [The development of actinomycetes]. Moscow: *Nauka*, 1977. 287 p.
6. Zvyagintsev D. G., Zenova G. M. *Ekologiya aktinomitsetov*. [Ecology of actinomycetes]. Moscow: *GEOS*, 2001. 257 p.
7. Hayakawa M., Nonomura H. Humic acid-vitamin agar, a new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. *Journal of Fermentation Technology*. 1987;65(5):501–509.
8. Zenova G. M. *Pochvennye aktinomitsety redkikh rodov*. [Soil actinomycetes of rare genera]. Moscow, 2000. 81 p.
9. Gauze G. F., Preobrazhenskaya T. P., Sveshnikova M. A., Terekhova L. P., Maksimova T. S. *Opredelitel' aktinomitsetov*. [The determinant of actinomycetes]. Moscow, 1983. 245 p.
10. Shirling E. B., Gottlieb D. Methods for characterization of *Streptomyces* species. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 1966;16(3):313-340. DOI: <https://doi.org/10.1099/00207713-16-3-313>
11. *Opredelitel' bakteriy Berdzhii: V 2 t. Pod red. Dzh. Khoulia i dr.* [Bergey's Bacterial Determinant: In 2 vols. Edited by J. Howl et al.]. Moscow, 1997. 800 p.
12. Hasegawa T., Takizawa M., Tanida S. A rapid analysis for chemical grouping of aerobic actinomycetes. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 1983;29(4):319-322. DOI: <https://doi.org/10.2323/jgam.29.319>
13. Li W. J., Xu P., Schumann P., Zhang Y. Q., Pukall R., Xu L. H., Stackebrandt E., Jiang Ch. L. *Georgeniaruanii* sp. nov., anovelactinobacterium isolated from forest soil in Yunnan (China) and emended description of the genus *Georgenia*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2007;57(7):1424–1428. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64749-0>
14. Liu Q. Q., Wang Y., Li J., Du Z. J., Chen G. J. *Saccharicriniscarchari* sp. nov., isolated from a shark, and emended descriptions of the genus *Saccharicrinis* and *Saccharicrinisfermentans*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2014;64(7):2204-2209. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.061986-0>

15. Yoon S. H., Ha S. M., Kwon S., Lim J., Kim Y., Seo H., Chun J. Introducing EzBioCloud: a taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2017;67(5):1613–1617. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001755>
16. Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution.* 2016;33:1870–1874. DOI: <https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>
17. Saitou N., Nei M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *MolBiolEvol.* 1987;4(4):406–425. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>
18. Kimura M. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution.* 1980;16:111–120. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01731581>
19. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution.* 1985;39:783–791.
20. Norovsuren J., Kostina N. V. *Redkiy rod aktinomisetov Actinomadurasp. v pochvakh saksaul'nogo lesa (Haloxylon ammodendron) Mongolii. Doklady TSKhA: sb. statey.* [A rare genus of actinomycetes, Actinomadurasp. in the soils of the saxaul forest (*Haloxylon ammodendron*) Mongolia. Reports of the TSHA: collection of articles. Moscow: Publishing House of the Russian State Agrarian University-MSHA named after K. A. Timiryazev]. Moscow: Izd-vo RGAU – MSKhA imeni K. A. Timiryazeva, 2020. Iss. 292. Part. IV. pp. 78–80. URL: https://www.timacad.ru/uploads/files/20200706/1594041128_vipusk_292-IV.pdf
21. Norovsuren J., Shul'ga-Mikhaylova N. V., Zenova G. M., Zvyagintsev D. G. *Aktinomiseti v pochvakh Mongolii.* [Actinomycetes in the soils of Mongolia]. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2002;(2):198–204. (In Russ.).
22. Aidan C. Parte. LPSN—list of prokaryotic names with standing in nomenclature. *Nucleic Acids Research.* 2014;42(D1): D613–D616. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1111>
23. Doroshenko E. A., Zenova G. M., Zvyagintsev D. G., Sudnitsyn I. I. *Prorastanie spor i rost mitseliya streptomisetov pri raznykh urovnyakh vlazhnosti.* [The germination of spores and growth of mycelium of Streptomyces under different humidity levels]. *Mikrobiologiya* = Microbiology. 2005;74(6):795–799. (In Russ.).
24. Doroshenko E. A., Norovsuren J., Zenova G. M. *Prorastanie spor i rost mitseliya aktinomisetov, vydelenykh iz pochv Mongolii, pri raznykh urovnyakh vlazhnosti.* [Spore germination and mycelium growth of actinomycetes isolated from Mongolian soils at different humidity levels]. *Chetvert' veka na strazhe plodorodiya: mat-ly Mezhdunarodn. nauchn.-prakt. konf.* [A quarter of a century on the guard of fertility: Proceedings of International scientific and practical Conf.]. Belgorod, 2006. pp. 82–84.
25. Eftekharivash L., Hamed J., Zarrini Gh., Bakhtiari R. Introducing acidophilic and acid tolerant actinobacteria as new sources of antimicrobial agents against *Helicobacter pylori*. *Archives of Razi Institute.* 2020;76(2). DOI: <https://doi.org/10.22092/ari.2019.128039.1401>
26. Arai Y., Inuma H., Ikeda Y., Igarashi M., Hatano M., Kinoshita N., Ukaji T., Simizu S., Umezawa K. Migracins A and B, new inhibitors of cancer cell migration, produced by *Streptomyces* sp. *J. Antibiotics* (Tokyo) 2013;66(4): 225–230. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ja.2012.112>

Список литературы

1. Доржсурэн Ч. Антропогенные сукцессии в лиственных лесах Монголии: монография. М.: Изд-во Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова, 2009. С. 209.
2. Гал Ж. Об изучении саксауловых пастбищ и их ботанические характеристики. Труды института биологии АН МНР. 1969;(3):177–191.
3. Цаценкин И. А., Юнатов А. А. Естественные кормовые ресурсы Монгольской народной республики. Восточная часть Гоби. Труды монгольской комиссии. М.: Изд-во АН СССР, 1951. Вып.40. 350 с.
4. Юнатов А. А. Заметки о саксауле в Монголии. Ученые записки Монгольского ГУ. Улан-Батор, 1946. Вып. 1. С 93– 97.
5. Калакуцкий Л. В., Агре Н. С. Развитие актиномицетов. М.: Наука, 1977. 287с.
6. Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Экология актиномицетов. М.: ГЕОС, 2001. 257 с.
7. Hayakawa M., Nonomura H. Humic acid-vitamin agar, a new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. *Journal of Fermentation Technology.* 1987;65(5):501–509.
8. Зенова Г. М. Почвенные актиномицеты редких родов. М., 2000. 81 с.
9. Гаузе Г. Ф., Преображенская Т. П., Свешникова М. А., Терехова Л. П., Максимова Т. С. Определи- тель актиномицетов. М., 1983. 245 с.
10. Shirling E. B., Gottlieb D. Methods for characterization of *Streptomyces* species. *International Journal of Systematic Bacteriology.* 1966;16(3):313–340. DOI: <https://doi.org/10.1099/00207713-16-3-313>
11. Определитель бактерий Берджи: В 2 т. Под ред. Дж. Хоула и др. М., 1997. 800 с.
12. Hasegawa T., Takizawa M., Tanida S. A rapid analysis for chemical grouping of aerobic actinomycetes. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 1983;29(4):319–322. DOI: <https://doi.org/10.2323/jgam.29.319>
13. Li W. J., Xu P., Schumann P., Zhang Y. Q., Pukall R., Xu L. H., Stackebrandt E., Jiang Ch. L. *Georgenia- ruaniisp. nov.*, a novel actinobacterium isolated from forest soil in Yunnan (China) and emended description of the genus *Georgenia*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2007;57(7):1424–1428. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijms.0.64749-0>

14. Liu Q. Q., Wang Y., Li J., Du Z. J., Chen G. J. *Saccharicriniscarchari* sp. nov., isolated from a shark, and emended descriptions of the genus *Saccharicrinis* and *Saccharicrinisfermentans*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2014;64(7):2204-2209. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.061986-0>
15. Yoon S. H., Ha S. M., Kwon S., Lim J., Kim Y., Seo H., Chun J. Introducing EzBioCloud: a taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2017;67(5):1613-1617. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001755>
16. Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. Molecular Biology and Evolution. 2016;33:1870-1874. DOI: <https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>
17. Saitou N., Nei M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. Mol Biol Evol. 1987;4(4):406-425. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>
18. Kimura M. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. Journal of Molecular Evolution. 1980;16:111-120. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01731581>
19. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. Evolution. 1985;39:783-791.
20. Норовсүрэн Ж., Костина Н. В. Редкий род актиномицетов *Actinomodurasp.* в почвах саксаульного леса (*Haloxylon ammodendron*) Монголии. Доклады ТСХА: сб. статей. М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. Вып. 292. Ч.IV.С.78-80.
Режим доступа: https://www.timacad.ru/uploads/files/20200706/1594041128_vipusk_292-IV.pdf
21. Норовсүрэн Ж., Шульга-Михайлова Н. В., Зенова Г. М., Звягинцев Д. Г. Актиномицеты в почвах Монголии. Почвоведение. 2002;(2):198-204.
22. Aidan C. Parte. LPSN—list of prokaryotic names with standing in nomenclature. Nucleic Acids Research. 2014;42(D1):D613–D616. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1111>
23. Дорошенко Е. А., Зенова Г. М., Звягинцев Д. Г., Судницын И. И. Прорастание спор и рост мицелия стрептомицетов при разных уровнях влажности. Микробиология. 2005;74(6):795-799.
24. Дорошенко Е. А., Норовсүрэн Ж., Зенова Г. М. Прорастание спор и рост мицелия актиномицетов, выделенных из почв Монголии, при разных уровнях влажности. Четверть века на страже плодородия: мат-лы Междунаро. научн.-практ. конф. Белгород, 2006. С. 82-84.
25. Eftekhariavash L., Hamed J., Zarrini Gh., Bakhtiari R. Introducing acidophilic and acid tolerant actinobacteria as new sources of antimicrobial agents against *Helicobacter pylori*. Archives of Razi Institute. 2020;76(2). DOI: <https://doi.org/10.22092/ari.2019.128039.1401>
26. Arai Y., Iinuma H., Ikeda Y., Igarashi M., Hatano M., Kinoshita N., Ukaji T., Simizu S., Umezawa K. Mi-gracins A and B, new inhibitors of cancer cell migration, produced by *Streptomyces* sp. J. Antibiotics (Tokyo) 2013;66(4): 225-230. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ja.2012.112>

Information about the authors

✉ **Jadambaa Norovsuren**, DSc in Biological sciences, Leading researcher in microbiology the Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Peace Avenue-54B, Bayanzurkh District, Ulaanbaatar-13330, Mongolia, e-mail: norvo@mail.ru

Liu Shao-Wei, Assistant Prof., Institute of Medicinal Biotechnology, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tian Tan Xi Li No.1, Beijing, 100050, China

Sun Cheng-Hang, Professor and Dean of Department of Microbial Chemistry, Professor, Institute of Medicinal Biotechnology, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tian Tan Xi Li No.1, Beijing, 100050, China

Batbaatar Altansukh, master, researcher Institute of the Botanical Garden of the Academy of Sciences of Mongolia, Peace Avenue-54A, Bayanzurkh District, Ulaanbaatar-13330

Chimidnyam Dorjsuren, Professor, Academician Institute of the Botanical Garden of the Academy of Sciences of Mongolia, Peace Avenue-54A, Bayanzurkh District, Ulaanbaatar-13330

Сведения об авторах

✉ **Норовсүрэн Жадамбаа**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии, Институт биологии Академии наук Монголии, Проспект Мира-54Б, Баянзурхский район, г. Улан-Батор, 13330, Монголия, e-mail: norvo@mail.ru

Shao-Wei Liu, доцент, Институт медицинской биотехнологии, Китайская академия медицинских наук и Объединенный медицинский колледж Пекина, г. Пекин, 100050, Китай

Cheng-Hang Sun, профессор и декан факультета химии микробов, Институт медицинской биотехнологии, Китайская академия медицинских наук и Объединенный медицинский колледж Пекина, г. Пекин, 100050, Китай

Алтансукх Батбаатар, магистр, научный сотрудник, Институт Ботанического сада Академии наук Монголии, 13330, Монголия, Проспект Мира-54А, Баянзурхский район, г. Улан-Батор, 13330, Монголия

Доржсүрэн Чимидням, профессор, академик, Институт Ботанического сада Академии наук Монголии, Проспект Мира-54А, Баянзурхский район, г. Улан-Батор, 13330, Монголия

✉ – Для контактов / Corresponding author

ОТЗЫВ

на статью Ж. Норовсурэн, Liu Shao-Wei, Sun Cheng-Hang,
Б. Алтансүх, Ч. Доржсүрэн

**«Молекулярно-биологическая характеристика разнообразия
стрептомицетов в почвах саксаулового леса Монголии»**

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.85-92>

И. Г. Широких

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

Пустынные экосистемы Монголии представляют собой уникальные места сосредоточения организмов-экстремофилов. Их местообитания подвержены действию значительного количества неблагоприятных факторов. Так, годовая амплитуда температур пустыни Гоби составляет 85 °С, суточная может достигать 35 °С, характерны сильнейшие засухи и засоление почв. Сочетание экстремальных факторов обусловило высокую приспособленность к среде обитания распространенных в пустынных почвах микроорганизмов, что является основой их богатого биотехнологического потенциала. Между тем, биологическое разнообразие и генетические ресурсы Монголии до сих пор не получили должной оценки. Важной частью общего биоразнообразия является разнообразие почвенных спорообразующих мицелиальных бактерий – актиномицетов, которые находят широкое применение как в производстве антибиотиков и других фармакологических препаратов, так и биопрепаратов сельскохозяйственного назначения – с антифунгальным, антипротозойным, инсектицидным и стимулирующим рост растений действием. Особое внимание в качестве потенциальных продуцентов привлекают внимание актиномицеты из природных экосистем, подверженных действию экстремальных факторов. В связи с этим представленная работа обладает актуальностью и новизной.

Авторы описывают изоляты актиномицетов, выделенные с помощью селективных приемов, из двух почвенных разностей под саксауловыми лесами – типичными фитоценозами Гобийской пустыни, используемыми в качестве верблюжьих пастбищ. Изучены фенотипические и генетические свойства 67 изолятов. С использованием комплекса разнообразных современных методов определено их таксономическое положение – принадлежность к роду *Streptomyces*. На основе данных о последовательности нуклеотидов фрагмента 16S рРНК установлено высокое сходство (от 99,2 до 100 %) ряда природных изолятов со штаммами, нуклеотидные последовательности которых представлены в международной базе данных GenBank NCBI. Высокая степень генетического соответствия позволила идентифицировать среди выделенных из почв саксаулового леса стрептомицетов представителей 23 различных видов. Полученные в работе последовательности депонированы в GenBank NCBI с присвоением культурам индивидуальных кодов доступа: MN566943-MN566946; MW192806; MN566947 и MN566987-MN566990. Выявленное разнообразие стрептомицетов может представлять интерес при создании экологически безопасных биопрепаратов для сельского хозяйства, что определяет практическую составляющую работы.

Сведения об авторе:

Широких Ирина Геннадьевна, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов, 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/0000-0002-3319-2729>

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.94-103>



УДК 636.084 (571.65)

Обогащение рационов молодняка крупного рогатого скота натуральной биологически активной кормовой добавкой

© 2021. И. Ю. Кузьмина✉, Л. С. Игнатович

ФГБНУ «Магаданский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», г. Магадан, Российская Федерация

На базе КФХ «Комарова» (Магаданская обл.) проведены исследования по изучению влияния ввода новой нетрадиционной компонентной кормовой добавки растительного происхождения в рационы молодняка крупного рогатого скота. Исследования проводили в стойловый период. Опыт поставлен на четырех группах животных (возрастной период 14-16 месяцев), разделённых случайным способом в соответствии с генотипом на контрольные и опытные по десять голов в каждой. В первые две группы (контроль, опыт) входили чистокровные бычки голштинской породы, в другие две – помеси I поколения (1/2 голштины × 1/2 герефорды). Опытным группам дополнительно к основному рациону ежедневно на протяжении двух месяцев вводили компонентную кормовую добавку, состоящую из муки стланика кедрового (*Mountain pine*) и лишайников (кладония альпийская (*Cladonia alpestris*), цетрария исландская (*Cetraria islandica*)). Результаты опыта показали, что кормовая добавка, состоящая из 120 г муки из хвои стланика кедрового и 50 г муки из лишайников (80 % кладонии альпийской и 20 % цетрарии исландской), оказала положительное влияние на интенсификацию обменных процессов в организме животных. Переваримость сырого протеина повысилась на 1,29-4,19 г (1,7-5,6 %), органического вещества – на 6,65-8,90 г (11,0-14,3 %), БЭВ – на 7,80-9,18 г (14,14-15,70 %). Повышение переваримости питательных веществ корма оказало положительное влияние на увеличение прироста живой массы на 0,6-3,0 г (1,35-5,93 %). Повышение конверсии корма составило 0,24-6,8 МДж (0,20-6,74 %), протеина корма – на 0,02-0,09 г (1,22-6,17 %). Помесные бычки оказались более отзывчивыми на изменение рациона кормления и показали более высокие результаты по всем изучаемым показателям. Эффективность применения добавки заключается и в том, что сырьё для её изготовления относится к дикоросам, произрастающим в природе в достаточно больших объёмах, что не требует значительных затрат на заготовку сырья и подготовку его к скормливанию.

Ключевые слова: телята на откорме, качество рациона, стланик, лишайники, продуктивность, усвоение питательных веществ, конверсия корма

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Магаданский НИИСХ (тема № 0825-2019-0003).

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кузьмина И. Ю., Игнатович Л. С. Обогащение рационов молодняка крупного рогатого скота натуральной биологически активной кормовой добавкой. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):94-103. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.94-103>

Поступила: 30.09.2020

Принята к публикации: 18.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Enriching the diets of young cattle with a natural biologically active feed additive

© 2021. Irina Yu. Kuzmina✉, Larisa S. Ignatovich

Magadan Research Institute of Agriculture, Magadan, Russian Federation

On the basis of the "Komarova" farm (Magadan, Magadan region), the effect of introducing a new non-traditional component feed additive of plant origin into the diets of young cattle was studied. The research was carried out during the stall period. For the experiment there were taken four groups of animals (14-16 months of age) divided at random in accordance with the genotype into control and experimental groups of ten animals each. The first two groups (control, experiment) included purebred Holstein bulls, the other two – hybrids of the 1st generation (1/2 Holstein × 1/2 Herefords). For the experimental groups, the main diet was supplemented with a component feed additive consisting of cedar elfin (*Mountain pine*) flour and lichens (alpine *Cladonia* (*Cladonia alpestris*), Icelandic *Cetraria* (*Cetraria islandica*)). The results of the experiment has shown that the feed additive, consisting of 120 g of cedar elfin needle flour and 50 g of lichen flour (80% of *Cladonia alpestris* and 20% of *Cetraria islandica*), has a positive effect on the intensification of metabolic processes in the animals. The digestibility of crude protein increased by 1.29-4.19 g (1.7-5.6 %); that of the organic matter – by 6.65-8.90 g (11.0-14.3 %); NFE (nitrogen-free extracts) – by 7.80-9.18 g (14.14-15.70 %). An increase in the digestibility of feed nutrients had a positive effect on an increase in live weight gain by 0.60-3.0 g (1.35-5.93 %). An increase in feed conversion was 0.24-6.8 MJ (0.20-6.74 %); feed protein – by 0.02-0.09 g (1.22-6.17 %). Crossbred bulls turned out to be more responsive to changes in the ration of feeding and showed better results in all studied parameters. The effectiveness of using the additive is

due to the fact that the raw material for the production is obtained from wild plants growing in nature in sufficiently large volumes. They do not require significant costs for harvesting and preparation for feeding.

Keywords: *fattening calves, diet quality, cedar elfin wood, lichens, productivity, nutrient intake, feed conversion*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment of Magadan Research Institute of Agriculture (theme No. 0825-2019-0003).

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

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

For citation: Kuzmina I. Yu., Ignatovich L. S. Enriching the diets of young cattle with a natural biologically active feed additive. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):94-103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.94-103>

Received: 30.09.2020

Accepted for publication: 18.01.2021

Published online: 22.02.2021

Возрождение животноводства становится стратегической задачей, решать которую можно, прежде всего, за счёт интенсификации факторов экономического роста, таких как повышение продуктивных качеств животных [1].

В соответствии с Государственной программой развития АПК на 2013-2020 годы выделенные на поддержку мясного скотоводства 65,4 млрд руб. должны были обеспечить рост производства высококачественной говядины в 2,5 раза (до 23 % в структуре производства говядины). Планировалось, что до конца 2020 года поголовье скота мясных пород составит 3,6 млн гол., будет произведено 148,2 тыс. т мяса крупного рогатого скота [2].

Для увеличения производства мяса говядины высокого качества в хозяйствах Магаданской области проводятся разработки научно обоснованных методов организации и ведения промышленного скрещивания крупного рогатого скота молочной (голландской) породы с производителями скороспелых мясных пород (герфордской). Это связано с тем, что помесный молодняк лучше адаптируется к условиям более жёсткого содержания, характеризуется усиленным белковым обменом, способен интенсивно усваивать питательные вещества растительных кормов, давая высокие приросты, что позволяет снизить себестоимость производимой продукции за счёт снижения эксплуатационных издержек.

Промышленное скрещивание позволяет увеличить производство мяса говядины более чем на 20 кг на 1 голову, а особые условия скормливания животных могут способствовать получению живой массы, превышающей массу чистопородных сверстников до 65 кг [3, 4, 5].

Производство высококачественной говядины во многом зависит от полноценности рационов и использования различных премиксов, кормовых добавок и биологически активных веществ. Дефицит в рационах питательных веществ может приводить к снижению продук-

тивных показателей животных и повышению себестоимости производимой продукции [6].

Кормовые ресурсы из дикоросов могут использоваться в качестве кормовых добавок, обладающих широким спектром биологически активных веществ, и в то же время могут служить альтернативой традиционным синтетическим антибиотикам, что в последнее время достаточно актуально. Антибиотики применялись в терапевтических и профилактических целях, как стимулятор роста и продуктивности в кормлении сельскохозяйственных животных, уже во второй половине XX века, но их использование для уничтожения или подавления роста микроорганизмов в организме «хозяина» может привести к изменению иммунного развития этого организма [7, 8].

Регулярное и чрезмерное использование синтетических антибиотиков приводит к развитию устойчивости бактерий. Это может препятствовать лечению как животных, так и человека, поскольку гены устойчивости к антибиотикам могут наследоваться. Избыточное применение синтетических антибиотиков в животноводстве способствует их накоплению в сверхдопустимых количествах в продуктах питания, создавая угрозу для здоровья человека, вызывая дисбиозы, аллергии, снижение иммунитета [9].

В конце XX столетия началась кампания по ограничению в Европе использования синтетических антибиотиков. Их применение в качестве профилактических доз в кормах для животных было запрещено в некоторых юрисдикциях, полный их запрет был введен в Европе в 2006 году [10].

В настоящее время созрела необходимость в выявлении альтернатив синтетическим антибиотикам для поддержания баланса экосистемы в кишечнике, а также для улучшения общей продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы, в связи с чем во всем мире, включая Россию, усиленно ведётся поиск таких средств [9].

Интерес к изучению натуральных растительных добавок, содержащих комплекс биологически активных веществ, позволяющих получать экологически чистую продукцию и не провоцирующих развитие «лекарственных болезней», возникающих после лечения, в том числе передающихся через сельскохозяйственную продукцию, возрастает [11].

Исследование сырья растительного происхождения показало, что эти компоненты обладают антимикробными, антиоксидантными и противовоспалительными свойствами [12]. Кроме того, они оказывают стимулирующее действие на пищеварительную систему за счет увеличения выработки пищеварительных ферментов и повышают эффективность использования корма в результате улучшения функций печени [13].

Ввоз кормовых добавок из дальнего и ближнего зарубежья или других географических регионов РФ становится все более проблематичным. Это связано с высокой стоимостью доставки и неэффективностью применения добавок, так как они разработаны без учёта состава местных рационов, условий кормления и содержания животных [14].

Натуральные кормовые добавки из местных дикоросов за счёт входящих в их состав нутриентов могут оказывать положительное влияние на иммунную систему организма, интенсификацию обменных процессов и усвоение питательных веществ корма; они обладают способностью оказывать положительное влияние на органолептические показатели корма, что способствует высокой поедаемости рациона и, в свою очередь, повышению продуктивности [15].

В состав кормовых добавок из хвои и лишайников входит широкий спектр нутриентов, необходимых для осуществления жизнедеятельности организма животных, способных оказывать благотворное влияние на обменные процессы, иммунокомпетентную систему, продуктивность, так как они находятся в неантагонистических сочетаниях (табл. 1 [16, 17, 18, 19, 20]).

Ценность кормовых продуктов из древесной зелени определяется высоким содержанием и широким разнообразием биологически активных компонентов, в частности, наличием терпеноидов – природных соединений, участвующих в биосинтезе многих жизненно важных компонентов, их называют «атмосферными витаминами» леса. Они являются активаторами ферментов живого организма, им свойственны значительные аллелопатические и иммунитетные качества [21].

Таблица 1 – Биологически-активные вещества, входящие в состав хвои и лишайников /
Table 1 - Biologically active substances forming needles and lichens

Показатель / Indicators	Содержание / Content
1	2
Мука из лишайников / Flour from lichens	
Сырой протеин, % / Crude protein, %	3-5
<i>Незаменимые аминокислоты, % к сырому протеину /</i> <i>Essential amino acids, % of crude protein</i>	
Лизин / Lysine	3,3
Метионин / Methionine	0,5
Треонин / Threonine	1,8
Валин / Valine	2,5
Лейцин / Leucine	2,6
Фенилаланин / Phenylalanine	1,4
Изолейцин / Isoleucine	1,9
<i>Витамины, мг/100 г / Vitamins, mg/100 g</i>	
С	11,4
β-каротин / β-carotene	10,3
<i>Минеральные вещества, % / Minerals, %</i>	
Кальций / Calcium	0,02
Фосфор / Phosphorus	0,01
Железо / Iron	0,01
Калий / Potassium	0,02
<i>Прочие действующие вещества, % /</i> <i>Other active ingredients, %</i>	
Усниковая кислота / Usnic acid	1,08
Мука из хвои стланика кедрового / Flour from cedar elfin needles	
<i>Незаменимые аминокислоты, % /</i> <i>Essential amino acids, %</i>	
Лизин / Lysine	0,09
Треонин / Threonine	0,16
Триптофан / Tryptophan	0,25
Аргинин / Arginine	0,15
Гистидин / Histidine	0,12
Лейцин / Leucine	0,23
Тирозин / Tyrosine	0,24
<i>Минеральные вещества, % / Minerals, %</i>	
Натрий / Sodium	0,054
Кальций / Calcium	0,27
Фосфор / Phosphorus	0,19
Железо / Iron	0,04

Продолжение табл. 1	
1	2
Витамины, мг/100 г / Vitamins, mg/100 g	
B ₁	19,1
B ₂	5,9
B ₃	27,7
B ₅	141,9
B ₆	2,0
E	До 540 / То 540
C	До 4850 / То 4850
H	0,15
B _c	8,0
Каротиноиды, мг% / Carotenoids, mg%	31,8
Прочие действующие вещества / Other active ingredients	
Гликолипиды, % / Glycolipids, %	14,1
Фосфолипиды, % / Phospholipids, %	5,6
Хлорофилл, мг% / Chlorophyll, mg%	493,5
Аспарагиновая кислота, мг% / Aspartic acid, mg%	До 187 / То 187
Глутаминовая кислота, мг% / Glutamic acid, mg%	До 326 / То 326
Стеарины, мг% / Stearins, mg%	10,0

Цель исследований – определить влияние кормовой добавки на основе кедрового стланика (*Mountain pine*) в сочетании с лишай-

никами: кладонией альпийской (*Cladonia alpestris*) и цетрарией исландской (*Cetraria islandica*) на переваримость кормов молодняком крупного рогатого скота и оплату корма продукцией.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели был проведён научно-хозяйственный опыт на базе КФХ «Комарова» (г. Магадан). Экспериментальные исследования проводили в стойловый период на помесных бычках в возрасте от 14 до 16 месяцев, разделённых по принципу аналогов на 4 равные группы. В первые две группы вошли чистокровные бычки голштинской породы, во вторые – помеси I поколения (1/2 голштинской × 1/2 герефорды). Из животных случайным способом были скомплектованы по две опытных и контрольных группы в соответствии с генотипом. При формировании контрольных и опытных групп достоверных различий по живой массе между ними не выявлено ($P \geq 0,05$), что говорит о корректном для проведения исследований подборе групп животных.

Животные контрольных и опытных групп содержались в одинаковых условиях по технологии, принятой в КФХ «Комарова». Все телята получали одинаковый хозяйственный рацион, содержащий: 6-7 ЭКЕ (энергетических кормовых единиц); 89-90 МДж ОЭ (обменной энергии); 9-10 кг сухого вещества, 1770-1780 г сырого протеина; 1320-1330 г переваримого протеина; 350-370 г сырого жира (табл. 2).

Таблица 2 – Химический состав и питательная ценность кормов КФХ «Комарова» и кормовой добавки, в 1 кг при натуральной влажности /

Table 2 – Chemical composition and nutritional value of feed of the "Komarova" farm and of feed additive, in 1 kg of natural moisture

Вид корма / Feed type	ЭКЕ / EFU	Обменная энергия, МДж / Metabolic energy, MJ	Сухое вещество, кг / Dry matter, kg	Сырой протеин, г / Crude protein, g	Переваримый протеин, г / Digestible protein, g	Сырая клетчатка, г / Crude fiber, g	Сырой жир, г / Crude fat, g	Кальций, г / Calcium, g	Фосфор, г / Phosphorus, g	Натрий, г / Sodium, g	Калий, г / Potassium, g	Каротин, мг% / Carotene, mg %
Силос овсяно-гороховый / Oat-pea silage	0,26	2,66	0,281	64,8	47,3	88,1	10,6	1,19	0,64	1,59	3,18	11,8
Зерновой размол / Grain milling	1,01	10,12	0,871	114,0	92,3	59,3	41,4	7,77	3,29	2,38	5,62	-
Кормовая добавка (стланик + лишайник) / Feed additive (elfin + lichen)	0,85	8,47	0,886	62,5	41,3	274,0	78,7	1,83	1,29	0,32	4,62	28,1

Бычки опытных групп дополнительно к основному рациону получали компонентную кормовую добавку, состоящую из 120 г муки из стланика кедрового и 50 г муки

из лишайников (80 % кладонии альпийской и 20 % цетрарии исландской) на голову в сутки (ежедневно, в течение двух месяцев) (табл. 3).

Таблица 3 – Схема опыта /

Table 3 – Scheme of the experiment

Группа / Groups	Статус / Status	Количество голов / Number of heads	Рацион кормления / Feeding ration
Голштины / Holstein	Контроль 1 / Control 1	10	Основной (хозяйственный) рацион / The main (economic) diet
	Опыт 1 / Test 1	10	Основной (хозяйственный) рацион + кормовая добавка / The main (economic) diet + feed additive
1/2 голштины × 1/2 герефорды / 1/2 Holstein × 1/2 Herefords	Контроль 2 / Control 2	10	Основной (хозяйственный) рацион / The main (economic) diet
	Опыт 2 / Test 2	10	Основной (хозяйственный) рацион + кормовая добавка / The main (economic) diet + feed additive

Для изучения влияния ввода кормовой добавки на переваримость питательных веществ корма в конце опытного периода был проведён физиологический (балансовый) опыт, где в рацион опытной группы молодняка была включена исследуемая кормовая добавка, как и в научно-хозяйственном опыте. В балансовом опыте участвовали по три головы животных из каждой группы (опыт и контроль). Продолжительность подготовительного периода составила 2 дня, учетный период – 3 дня. Поедаемость рациона в группах контролировалась ежедневно. В учетный период собирались остатки корма и весь выделенный кал (для взвешивания).

Для статистической обработки данных использовали методики, приведённые в руководстве Н. А. Плохинского¹. Достоверность различий определяли по таблицам Стьюдента, силу и достоверность влияния ввода кормовых добавок на продуктивные качества телят – методом дисперсионного анализа однофакторных комплексов по таблицам Фишера. Значимость результатов принимали при $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Влияние кормовой добавки на потребление питательных веществ корма. В стойловый период бычкам всех подопытных групп скормливали рацион, содержащий овсяно-гороховый силос (20,0-24,3) кг и зерновой размол (2,9-3,2 кг). Бычки опытных групп дополнительно получали кормовую добавку (120 г муки из стланика кедрового, 50 г муки из лишайников) (табл. 2).

При оценке потребления кормов животными выявлено, что чистокровные бычки голштинской породы 1 опытной группы потребили с кормом на 0,1 кг (0,1 %) переваримого протеина и на 69,1 МДж (1,2 %) обменной энергии больше аналогов контрольной группы. Во 2 опытной группе (1/2 голштины × 1/2 герефорды) потребление переваримого протеина корма было меньше контроля на 0,5 кг (0,7 %), обменной энергии – на 61,0 МДж (1,19 %) (табл. 4).

Выявлено, что у чистопородных животных потребление переваримого протеина и обменной энергии корма было выше, чем у помесных бычков.

Влияние кормовой добавки на переваримость питательных веществ корма. Для определения переваримости питательных веществ корма организмом телят в учетный период балансового опыта, длившегося 3 дня, контролировалось среднесуточное потребление корма и выделение кала телятами каждой группы (табл. 5).

По результатам проведённых расчётов выявлено, что переваримость питательных веществ корма у телят опытных групп, получавших в рационе кормовую добавку, была выше, чем у аналогов контрольных групп: в 1 опытной группе (голштины) сухого вещества – на 7,81 %; сырого протеина – на 6,65 %; органического вещества – на 4,19 %; сырого жира – на 3,86 %; сырой клетчатки – на 6,52 %, БЭВ – на 7,8 %.

¹Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. С. 76-100.

Таблица 4 – Количество потребленных питательных веществ корма и оплата продукцией /
Table 4 - Amount of consumed feed nutrients and payment by products

Группа / Group	Статус / Status	Абсолютный прирост живой массы за период опыта, кг / Absolute gain in live weight over the experiment period, kg	Потреблено протеина и ОЭ корма за период опыта (в среднем на 1 голову) / Protein and feed ME consumed during the experiment (on average for 1 head)		Затраты протеина и ОЭ корма на 1 кг прироста живой массы / Protein and ME consumption of feed per 1 kg of live weight gain	
			переваримый протеин, кг / digestible protein, kg	обменная энергия, МДЖ / metabolic energy, mj	переваримый протеин, кг / digestible protein, kg	обменная энергия, МДЖ / metabolic energy, mj
Голштины / Holstein	Контроль 1 / Control 1	44,3±0,6	87,0	5797,0	1,964	130,86
	Опыт 1 / Test 1	44,9±0,5	87,1	5866,2	1,940	130,65
	± к контролю / ± to control	0,6±0,55	0,1	69,2	-0,02	-0,21
1/2 голштины × 1/2 герефорды / 1/2 Holstein × 1/2 Herefords	Контроль 2 / Control 2	50,6±0,8	74,7	5103,7	1,476	100,9
	Опыт 2 / Test 2	53,6±1,5	74,2	5042,7	1,385	94,1
	± к контролю / ± to control	3,0±1,12	-0,5	-61,0	-0,09	-6,78

Таблица 5 – Переваримость питательных веществ корма телятами контрольной и опытной групп, % /
Table 5 – Digestibility of feed nutrients by calves from the control and experimental groups, %

Показатель / Indicators	Голштины / Holstein		1/2 голштины × 1/2 герефорды / 1/2 Holstein × 1/2 Herefords	
	контроль 1 / control 1	опыт 1 / test 1	контроль 2 / control 2	опыт 2 / test 2
Сухое вещество / Dry matter	56,47±0,44	64,28±1,56	58,93±1,86	68,01±2,50
Органическое вещество / Organic matter	74,66±0,58	78,85±1,43	77,66±0,01	78,95±1,53
Сырой протеин / Crude protein	60,24±0,62	66,89±1,34	62,05±0,28	70,94±0,99
Сырой жир / Crude fat	64,31±0,51	68,17±0,70	74,66±0,52	78,35±0,75
Сырая клетчатка / Crude fiber	56,76±3,52	63,28±6,21	53,59±0,53	67,51±0,71
БЭВ / NFE	55,17±0,32	62,97±0,39	58,48±0,69	67,66±2,02

В опытной группе 2 (1/2 голштины × 1/2 герефорды) переваримость сухого вещества возросла на 9,08 %, сырого протеина – на 8,89 %, органического вещества – на 1,29 %, сырого жира – на 3,69 %, сырой клетчатки – на 13,93 %, БЭВ – на 9,18 % к контролю.

Исследования показали, что применение в рационах телят различных генотипов изучаемой кормовой добавки оказывало положительное влияние на интенсификацию обменных процессов организма и способствовало повышению переваримости питательных веществ корма.

Определено, что у помесных животных (1/2 голштины × 1/2 герефорды) перевари-

мость питательных веществ корма была выше, чем у чистопородных (голштины) бычков.

Влияние кормовой добавки на продуктивные показатели телят. Интенсификация обменных процессов организма телят оказала положительное влияние на продуктивные показатели животных опытных групп. В опытной группе 1 (голштины) абсолютный прирост живой массы за весь период опыта составил 44,9 кг, что на 0,6 кг (1,36 %) выше контрольных показателей аналогов, в опытной группе 2 (1/2 голштины × 1/2 герефорды) – 53,6 кг, на 3,6 кг (5,9 %) больше, чем у аналогов контрольной группы ($P \leq 0,01$).

Относительная скорость роста у бычков опытных групп, получавших дополнительно к хозяйственному рациону кормовую добавку, так же была выше, чем у бычков контрольных групп, при этом у помесных бычков этот пока-

затель оказался выше, чем у чистокровных животных. У бычков голштинской породы скорость роста была на 0,12 %, у помесных бычков (1/2 голштины × 1/2 герефорды) на 0,77 % выше контрольных показателей аналогов (табл. 6).

Таблица 6 – Динамика живой массы чистопородных и помесных бычков голштинской породы /
 Table 6 - Dynamics of live weight of purebred and crossbred Holstein bulls

Возраст, мес. / Age, months	Голштины / Holstein			
	Контроль 1 / Control 1		Опыт 1 / Test 1	
	живая масса на начало периода, кг / live weight at the beginning of the period, kg	среднесуточный прирост, г / average daily gain, g	живая масса на конец периода, кг / live weight at the end of the period, kg	среднесуточный прирост, г / average daily gain, g
14	329,3±3,02	729,39±9,82	330,85±2,68	736,7±8,09
15	315,5±3,26		353,32±2,77	
16	373,55±3,5	722,84±13,72	375,7±2,88	733,7±8,64
Абсолютный прирост живой массы, кг / Absolute gain in live weight, kg	44,3±0,60	-	44,9±0,50	-
Относительная скорость роста, % / Relative growth rate, %	12,59±0,12	-	12,71±0,13	-
Возраст, мес. / Age, months	1/2 голштины × 1/2 герефорды / 1/2 Holstein × 1/2 Herefords			
	Контроль 2 / Control 2		Опыт 2 / Test 2	
	живая масса на начало периода, кг / live weight at the beginning of the period, kg	среднесуточный прирост, г / average daily gain, g	живая масса на конец периода, кг / live weight at the end of the period, kg	среднесуточный прирост, г / average daily gain, g
14	372,15±2,33	837,7±14,17	374,8±1,79	849,14±9,38
15	397,7±2,12		400,7±1,56	
16	422,0±2,0	796,66±16,06	428,35±1,43	904,84±9,14
Абсолютный прирост живой массы, кг / Absolute gain in live weight, kg	50,6±0,80	-	53,6±1,50	-
Относительная скорость роста, % / Relative growth rate, %	12,56±0,24	-	13,33±0,16	-

Влияние кормовой добавки на конверсию корма. Анализ оплаты корма продукцией показал положительное влияние ввода кормовой добавки на конверсию корма – в обеих опытных группах затраты переваримого протеина и обменной энергии корма были ниже, чем в параллельных контрольных группах (табл. 4).

Чистокровные бычки опытной группы потребили переваримого протеина на 0,1 кг и обменной энергии на 69,2 МДж больше, чем контрольные животные, при этом конверсия корма была выше, чем в контрольной группе: протеина на 0,02 кг (1,2 %), обменной энергии – на 0,21 МДж (0,2 %).

В опытной группе помесных животных потребление корма было меньше, чем в контрольной на 0,5 кг переваримого протеина и на 61 МДж обменной энергии, снижение

затрат корма оказалось более существенным: переваримого протеина на 0,09 кг (6,2 %), обменной энергии на 6,78 МДж (6,7 %).

Степень влияния ввода кормовой добавки на продуктивность откормочного молодняка крупного рогатого скота. Для установления степени влияния кормовой добавки на продуктивность телят нами проведён однофакторный дисперсионный анализ. Исследовали абсолютный прирост живой массы телят за период опыта. Установили, что введение новой нетрадиционной компонентной кормовой добавки растительного происхождения в рацион молодняка крупного рогатого скота оказало достоверное влияние на продуктивность (по критерию Фишера ($P \leq 0,05$)). Показатель силы влияния $\eta^2_x = 0,450$ означает, что из всех действующих факторов, определяющих

повышение продуктивности, 45,0 % приходится на действие исследуемой кормовой добавки. Между коррелируемыми признаками имеется средняя прямая связь $r = 0,587$ ($P \leq 0,05$).

Выводы. По результатам проведенных исследований установлено, что ввод в хозяйственный рацион откормочного молодняка крупного рогатого скота компонентной кормовой добавки растительного происхождения, состоящей из 120 г муки из хвои стланика кедрового и 50 г муки из лишайников, является эффективной формой обогащения рационов питательными и биологически активными веществами.

Применение в рационах телят исследуемой кормовой добавки оказывает положительное влияние на интенсификацию обменных процессов организма животных: переваримость сухого вещества корма возросла на 7,81-9,08 %; органического вещества – на 6,65-

8,89 %; сырого протеина – на 1,29-4,19 %; сырого жира – на 3,69-3,86 %; сырой клетчатки – на 6,52-13,93 %, БЭВ – на 7,8-9,18 %.

Интенсификация обменных процессов организма телят способствовала повышению их продуктивных качеств: прирост живой массы за период опыта у чистокровных телят возрос на 1,36 % и составил 44,9 кг, у помесных телят – на 5,9 % и составил 53,6 кг.

Повышение продуктивности телят оказало положительное влияние на конверсию корма – затраты корма на единицу продукции снизились: протеина на 0,02-0,9 кг (1,2-6,2 %); обменной энергии на 0,21-6,78 МДж (0,2-6,7 %).

Помесные бычки (1/2 голштины × 1/2 герефорды) оказались более отзывчивыми на изменение рациона кормления, чем чистокровные и показали более высокие результаты по всем изучаемым показателям.

Список литературы

1. Караваева М. Э., Юлдашбаев Ю. А., Колотова Н. А. Тенденции развития рынка мяса в России. Зоотехния. 2015;(12):6-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24881376>
2. Чинаров А. В., Стрекозов Н. И. Стратегия развития внутреннего рынка мяса на среднесрочную перспективу. Зоотехния. 2014;(6):15-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21630186>
3. Фенченко Н. Г., Хайруллина Н. И., Шамсутдинов Д. Х., Шагалиев Ф. М., Юмагузин И. Ф., Сабитов М. Т., Фархутдинова А. Р. Влияние препарата с селеном на рост и формирование мясной продуктивности бычков. Молочное и мясное скотоводство. 2020;(2):34-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42712370>
4. Левахин В.И., Саркенов Б. А., Поберухин М. М. Адаптационные способности и продуктивность чистопородных и помесных бычков при различных технологиях выращивания. Молочное и мясное скотоводство. 2015;(4):5-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23734875>
5. Лукьянов В. Н., Пикуль А. Н. Влияние уровня кормления на рост, развитие и мясную продуктивность бычков черно-пестрой породы и помесей с лимузинской породой. Зоотехния. 2015;(11):5-6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24881360>
6. Мохов Б. А., Шаболена Е. П. Затраты энергии, пищевое поведение и скорость роста помесных киано-бестужевских и чистопородных бестужевских бычков. Зоотехния. 2013;(7):19-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19129114>
7. Gustafson R. H., Bowen R. E. Antibiotic use in animal agriculture. J Appl Microbiol. 1997;83(5):531-541. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1997.00280.x>
8. Mulder I. E., Schmidt B., Stokes C. R., Lewis M., Bailey M., Aminov R. I., Prosser J. I., Gill B. P., Pluske J. R., Mayer C. D., Corran C. M., Denise K. Environmentally-acquired bacteria influence microbial diversity and natural innate immune responses at gut surfaces. BMC Biol. 2009;(7):79. DOI: <https://doi.org/10.1186/1741-7007-7-79>
9. Горячева М. М. Альтернатива антибиотикам. Птица и птицепродукты. 2013;(1):16-19. Режим доступа: <http://www.vniipp.ru/journal/arhiv2013/1-2013.pdf>
10. Niewold T. A. The nonantibiotic anti-inflammatory effect of antimicrobial growth promoters, the real mode of action? A hypothesis. Poult Sci. 2007;86(4):605-609. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.4.605>
11. Дедкова А. И., Авдюхин А. С. Применение растительных препаратов для повышения резистентности и продуктивности цыплят-бройлеров. Зоотехния. 2007;(8):19-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11718304>
12. Gheisar M. M., Kim I. H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition e a review. Ital J Anim Sci. 2017;(17):92-99. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
13. Prakash U. N., Srinivasan K. Beneficial influence of dietary spices on the ultrastructure and fluidity of the intestinal brush border in rats. Br J Nutr. 2010;104(1):31-39. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510000334>

14. Сабитов М. Т., Фархутдинова А. Р., Маликова М. Г., Фенченко Н. Г., Хайруллина Н. И., Шамсутдинов Д. Х. Влияние комплексной минерально-витаминной добавки на гематологические и биохимические показатели крови телят. Молочное и мясное скотоводство. 2020;(1):27-31.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42648784>

15. Saki A. A., Aliarabi H., Siyar S. A. H., Salari J., Hashemi M. Effect of a phytogetic feed additive on performance, ovarian morphology, serum lipid parameters and egg sensory quality in laying hen. Vet Res Forum. 2014;5(4):287-293. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4299994/>

16. Lantto T. A., Shikov A. N., Pozharitskaya O. N., Makarov V. G., Tikhonov V. P., Hiltunen R., Raasmaja A. Chemical composition, antioxidative activity and cell viability effects of a Siberian pine (*Pinussibirica* Du Tour) extract. Food Chemistry. 2009;112 (4):936-943. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.008>

17. Feng S., Zeng W., Luo F. Antibacterial activity of organic acids in aqueous extracts from pine needles (*Pinus massoniana* Lamb). Food Science and Biotechnology. 2010;19(1):35-41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0005-2>

18. Zeng W.-C., Zhang Z., Jia L.-R. Antioxidant activity and characterization of antioxidant polysaccharides from pine needle (*Cedrus deodara*). Carbohydrate Polymers. 2014;108:58-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.022>

19. Podterob A. P. Chemical composition of lichens and their medical applications. Pharmaceutical Chemistry Journal. 2008;42 (10):582-588. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11094-009-0183-5>

20. Bate P. N. N., Orook E. A., Nyongbela K. D., Babiaka S. B., Ngemenya M. N. In vitro activity against multi-drug resistant bacteria and cytotoxicity of lichens collected from Mount Cameroon. Journal of King Saud University-Science. 2020;32(1):614-619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.09.001>

21. Старикова Н. Биологически активные добавки. Состояние и проблемы: монография. Хабаровск: РИЦ ХГАЭП, 2005. 124 с.

References

1. Karavaeva M. E., Yuldashbaev Yu. A., Kolotova N. A. *Tendentsii razvitiya rynka myasa v Rossii*. [Tendencies of meat market development in Russia]. *Zootekhniya*. 2015;(12):6-8. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24881376>

2. Chinarov A. V., Strekozov N. I. *Strategiya razvitiya vnutrennego rynka myasa na srednesrochnuyu perspektivu*. [Strategy of development of meat inner market on average forecasting]. *Zootekhniya*. 2014;(6):15-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21630186>

3. Fenchenko N. G., Khayrullina N. I., Shamsutdinov D. Kh., Shagaliev F. M., Yumaguzin I. F., Sabitov M. T., Farkhutdinova A. R. *Vliyanie preparata s selenom na rost i formirovaniye myasnoy produktivnosti bychkov*. [Influence of selenium-based additive on the growth and formation of meat productivity in calf bulls]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;(2):34-37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42712370>

4. Levakhin V. I., Sarkenov B. A., Poberukhin M. M. *Adaptatsionnye sposobnosti i produktivnost' chistopородnykh i pomesnykh bychkov pri razlichnykh tekhnologiyakh vyrashchivaniya*. [Genotype, adaptation and productivity of young cattle]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2015;(4):5-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23734875>

5. Luk'yanov V. N., Pikul' A. N. *Vliyanie urovnya kormleniya na rost, razvitie i myasnuyu produktivnost' bychkov cherno-pestroy porody i pomesey s limuzinskoy porodoj*. [Influence of feeding level on growth, development and meat efficiency of bull-calves of black-and-white breed and its hybrids with limousin breed]. *Zootekhniya*. 2015;(11):5-6. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24881360>

6. Mokhov B. A., Shabolena E. P. *Zatraty energii, pishchevoe povedenie i skorost' rosta pomesnykh kiano-bestuzhevskikh i chistopородnykh bestuzhevskikh bychkov*. [Energy expenditures, feeding behavior and growth rate of crossbred and purebred youngsters]. *Zootekhniya*. 2013;(7):19-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19129114>

7. Gustafson R. H., Bowen R. E. Antibiotic use in animal agriculture. J Appl Microbiol. 1997;83(5):531-541. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1997.00280.x>

8. Mulder I. E., Schmidt B., Stokes C. R., Lewis M., Bailey M., Aminov R. I., Prosser J. I., Gill B. P., Pluske J. R., Mayer C. D., Corran C. M., Denise K. Environmentally-acquired bacteria influence microbial diversity and natural innate immune responses at gut surfaces. BMC Biol. 2009;(7):79. DOI: <https://doi.org/10.1186/1741-7007-7-79>

9. Goryacheva M. M. *Al'ternativa antibiotikam*. [Antibiotics alternative]. *Ptitsa i ptitseprodukt* = Poultry and Poultry Products. 2013;(1):16-19. (In Russ.). URL: <http://www.vniipp.ru/journal/arhiv2013/1-2013.pdf>

10. Niewold T. A. The nonantibiotic anti-inflammatory effect of antimicrobial growth promoters, the real mode of action? A hypothesis. Poult Sci. 2007;86(4):605-609. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.4.605>

11. Dedkova A. I., Avdyukhin A. S. *Primenenie rastitel'nykh preparatov dlya povysheniya rezistentnosti i produktivnosti tsyplyat-broylerov*. [Use of plants' preparatus for increasing a resistance and productivity of chicken-broilers]. *Zootekhniya*. 2007;(8):19-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11718304>

12. Gheisar M. M., Kim I. H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition e a review. Ital J Anim Sci. 2017;(17):92-99. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
13. Prakash U. N., Srinivasan K. Beneficial influence of dietary spices on the ultrastructure and fluidity of the intestinal brush border in rats. Br J Nutr. 2010;104(1):31-39. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114510000334>
14. Sabitov M. T., Farkhutdinova A. R., Malikova M. G., Fenchenko N. G., Khayrullina N. I., Shamsutdinov D. Kh. *Vliyanie kompleksnoy mineral'no-vitaminnoy dobavki na gematologicheskie i biokhimicheskie pokazateli krovi telyat*. [Influence of complex mineral and vitamin feed additive on hematologic and biochemical calf blood parameters]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;(1):27-31. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42648784>
15. Saki A. A., Aliarabi H., Siyar S. A. H., Salari J., Hashemi M. Effect of a phytogenic feed additive on performance, ovarian morphology, serum lipid parameters and egg sensory quality in laying hen. Vet Res Forum. 2014;5(4):287-293. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4299994/>
16. Lantto T. A., Shikov A. N., Pozharitskaya O. N., Makarov V. G., Tikhonov V. P., Hiltunen R., Raasmaja A. Chemical composition, antioxidative activity and cell viability effects of a Siberian pine (*Pinussibirica* Du Tour) extract. Food Chemistry. 2009;112 (4):936-943. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.008>
17. Feng S., Zeng W., Luo F. Antibacterial activity of organic acids in aqueous extracts from pine needles (*Pinus massoniana* Lamb). Food Science and Biotechnology. 2010;19(1):35-41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0005-2>
18. Zeng W.-C., Zhang Z., Jia L.-R. Antioxidant activity and characterization of antioxidant polysaccharides from pine needle (*Cedrus deodara*). Carbohydrate Polymers. 2014;108:58-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.022>
19. Podterob A. P. Chemical composition of lichens and their medical applications. Pharmaceutical Chemistry Journal. 2008;42 (10):582-588. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11094-009-0183-5>
20. Bate P. N. N., Orock E. A., Nyongbela K. D., Babiaka S. B., Ngemenya M. N. In vitro activity against multi-drug resistant bacteria and cytotoxicity of lichens collected from Mount Cameroon. Journal of King Saud University-Science. 2020;32(1):614-619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.09.001>
21. Starikova N. Biologically active additives: state and problems: monograph. Khabarovsk: RITs KhGAEP, 2005. 124 p.

Сведения об авторах

✉ Кузьмина Ирина Юрьевна, врио директора, ФГБНУ «Магаданский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ул. Пролетарская, д. 17, г. Магадан, Российская Федерация, 685000, e-mail: agrarian@maglan.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2301-1477>, e-mail: irina.kuzmina07.10@yandex.ru

Игнатович Лариса Сергеевна, научный сотрудник, ФГБНУ «Магаданский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ул. Пролетарская 17, г. Магадан, Российская Федерация, 685000, e-mail: agrarian@maglan.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4399-1847>

Information about the author

✉ Irina Yu. Kuzmina, Acting Director, Magadan Research Institute of Agriculture, st. Proletarskaya 17, Magadan, Russian Federation, 685000, e-mail: agrarian@maglan.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2301-1477>, e-mail: irina.kuzmina07.10@yandex.ru

Larisa S. Ignatovich, researcher, Magadan Research Institute of Agriculture, st. Proletarskaya 17, Magadan, Russian Federation, 685000, e-mail: agrarian@maglan.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4399-1847>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.104-118>



УДК 619:616.99:615.03:636.2

Токсикологическая оценка азометина «С-18» и изучение антигельминтной эффективности его различных доз при нематодирозе крупного рогатого скота

© 2021. Р. И. Шангараев, М. Х. Лутфуллин✉, Р. Р. Тимербаева, Р. Р. Гиззатуллин, Р. Р. Гиззатуллина

ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана», г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Изучали параметры острой токсичности азометина «С-18» и показатели крови у молодняка крупного рогатого скота, естественно инвазированного нематодурусами, до и после лечения их этим средством и различными антигельминтными препаратами. Проводили титрацию терапевтической дозы азометина при нематодирозе телят. В первом опыте изучали острую токсичность азометина «С-18» на белых беспородных мышах и крысах. В результате проведенных исследований среднесмертельная доза азометина «С-18» не установлена. Максимально вводимая доза составила 2000 мг/кг. Падежа лабораторных животных не было. Во втором опыте исследовали влияние азометина «С-18» на показатели крови инвазированного гельминтами крупного рогатого скота. Установлено, что в крови естественно зараженных нематодурусами телят отмечались: эритропения, гипогемоглобинемия, лейкоцитоз, эозинофилия, лимфоцитопения, гипотензия, гипогликемия, повышение активности трансаминаз. После дегельминтизации этих животных тетраизол гранулятом, 10 % суспензией альбендазола и азометином «С-18» нарушенные гематологические показатели полностью восстанавливались до физиологической нормы на 30-й день. В третьем опыте исследовали влияние различных доз азометина «С-18» на гематологические показатели здорового крупного рогатого скота. Животным перорально был введен азометин «С-18» в дозах 50 и 100 мг/кг, после которых у телят в сыворотке крови установлены гипогликемия, повышение активности щелочной фосфатазы и снижение содержания мочевины. В четвертом опыте была изучена антигельминтная эффективность различных доз азометина «С-18» при нематодирозе крупного рогатого скота. Установлено, что азометин «С-18» в дозах 2; 5; 10; 15 и 20 мг/кг показал примерно одинаковую интенсивность, которая варьировала от 95,3 до 97,9 %. Экстенсивность составила 87,5 %. В качестве терапевтической была выбрана доза 2 мг/кг.

Ключевые слова: антигельминтные препараты, биохимические показатели, интенсивность, кровь, морфологические показатели, острая токсичность, экстенсивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке руководства ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ, руководства ООО «Ашгит», руководства ветеринарной клиники «Добрый Кот» г. Казани.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шангараев Р. И., Лутфуллин М. Х., Тимербаева Р. Р., Гиззатуллин Р. Р., Гиззатуллина Р. Р. Токсикологическая оценка азометина «С-18» и изучение антигельминтной эффективности его различных доз при нематодирозе крупного рогатого скота. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;22(1):104-118.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.104-118>

Поступила: 13.11.2020

Принята к публикации: 27.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Toxicological assessment of azomethine «C-18» and study of anthelmintic efficacy of its various doses in cattle affected with nematodiriosis

© 2021. Rafkat I. Shangaraev, Minsagit H. Lutfullin✉, Razalia R. Timerbaeva, Ramis R. Gizzatullin, Ramia R. Gizzatullina

Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

The parameters of acute toxicity of azomethine "C-18" and blood indicators in young cattle, naturally invaded by nematodiruses before and after treatment with this remedy and various anti-helminthic drugs, were studied. The therapeutic dose of azomethine in calves affected with nematodiriosis was titrated. In the first experiment, the acute toxicity of azomethine "C-18" was studied in white outbred mice and rats. As the result of the studies, the average death dose of azomethine "C-18" was not established. The maximum dose administered was 2000 mg/kg. There was no loss in laboratory animals. In the second

experiment, the effect of azomethine "C-18" on the blood indicators of helminth-infested cattle was investigated. It was established that in the blood of calves naturally infected with nematodiruses there were: erythropenia, hypohemoglobinemia, leukocytosis, eosinophilia, lymphocytopenia, giproteinemia, hypoglycemia, increased transaminase activity. After deworming these animals with tetramizole granulate, 10% albendazole suspension and azomethine "C-18" broken hematological parameters were completely restored up to physiological norm on the 30-th day. In the third experiment, the effect of different doses of azomethine "C-18" on the hematological indices of healthy cattle were studied. The animals were orally administered azomethine "C-18" in doses of 50.0 and 100.0 mg/kg. After that hypoglycemia, increased alkaline phosphatase activity and reduced urea content were found in serum of calves. In the fourth experiment, the anthelmintic efficacy of various doses of azomethine "C-18" in cattle affected with nematodirosis was studied. It has been established that azomethine "C-18" in doses 2; 5; 10; 15 and 20 mg/kg showed approximately the same intensity of efficacy, which ranged from 95.3 to 97.9%. The extensity of efficacy was 87.5%. The therapeutic dose was 2.0 mg/kg.

Keywords: anthelmintic drugs; biochemical indicators; intensity of efficacy; blood; morphological indicators; acute toxicity; extensity of efficacy

Acknowledgments: the work was carried out under the support of the authorities of Kazan State Academy of Veterinary Medicine, the executive management of ООО "Ashyt", the executive management of the veterinary clinic "Dobry Cot" ("A Good Cat") in Kazan.

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

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

For citation: Shangaraev R. I., Lutfullin M. H., Timerbaeva R. R., Gizzatullin R. R., Gizzatullina R. R. Toxicological assessment of azomethine «C-18» and study of anthelmintic efficacy of its various doses in cattle affected with nematodirosis. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):104-118. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.104-118>

Received: 13.11.2020

Accepted for publication: 27.01.2021

Published online: 22.02.2021

У сельскохозяйственных животных широко распространены болезни инвазионной этиологии, которые причиняют большой экономический ущерб животноводству. Эти заболевания являются основной причиной снижения продуктивности, племенной ценности и выбраковки скота. По данным Р. А. Старикова [1], при инвазиях овец, вызванных стронгилятами семейства *Trichostrongylidae*, масса тела животных и шерстная продуктивность уменьшается на 10-15 %. Мясная продуктивность снижается на 3,6 %. У молочного скота при стронгилятозах пищеварительного тракта и фасциолезе зарегистрировано снижение суточного удоя на 10,6 % [2]. А у молодняка крупного рогатого скота прирост массы тела был на 45,3 % меньше по сравнению со здоровыми животными. По данным А. М. Плиевой [3], в 2020 году экстенсивность заражения крупного рогатого скота стронгилятами пищеварительного тракта в Ингушской Республике достигла 92,6 %. Наиболее сильно были поражены животные в равнинной части республики (по сравнению с горными районами).

В организме животного возбудители инвазионных заболеваний нарушают механизмы неспецифической защиты: в результате сложных взаимоотношений между паразитом и хозяином в организме последнего развиваются воспалительные и дистрофические изменения, прогрессирует сенсибилизация к антигенам паразитарного агента, снижается бактерицидная активность сыворотки крови, нару-

шаются процессы пищеварения и всасывания питательных веществ в кишечнике. Ткани и клетки испытывают дефицит питательных веществ, нарушаются окислительно-восстановительные и метаболические процессы в клетках. В результате жизнедеятельности паразиты выделяют продукты метаболизма, которые оказывают токсическое действие на организм хозяина и служат пусковым механизмом для развития иммунопатологических реакций. Все это приводит к снижению резистентности организма животных к инфекционным и другим заболеваниям [4, 5].

Для этиотропной терапии животных при инвазионных болезнях используются противопаразитарные препараты [6, 7]. Они имеют различное происхождение и лекарственную форму, отличаются между собой по фармакологическим свойствам и токсикологическим характеристикам [8].

К сожалению, многие отечественные противопаразитарные препараты не соответствуют современным ветеринарно-санитарным, токсикологическим и экологическим требованиям. Наиболее эффективные и популярные противопаразитарные препараты по токсикологическим характеристикам относятся ко II и III классам опасности, что требует осторожности при их применении. Ряд препаратов для борьбы с паразитами оказывает негативное действие на качество животноводческой продукции. Есть данные о том, что после выделения в окружающую среду многие

противопаразитарные соединения представляют опасность для фауны почвы. К отдельным химиотерапевтическим веществам возбудители приобрели резистентность. Поэтому на сегодняшний день актуальным вопросом является синтез наиболее безопасных и эффективных противопаразитарных средств, обладающих широким спектром действия, высокой антипаразитарной активностью и безопасностью [9].

Внедрение современных антигельминтных, антипротозойных и инсектоакарицидных препаратов в клиническую практику возможно лишь после детального изучения их специфической фармакологической активности и безопасности на этапе доклинических исследований [10]. Доклинические токсикологические исследования фармакологического средства проводят для установления характера и выраженности его повреждающего действия на организм экспериментальных животных и оценки его безопасности [11].

При изучении терапевтической эффективности противопаразитарных препаратов проводят гематологические исследования у леченных животных, так как полученные при этом данные используют при оценке побочных действий изучаемого препарата. Кровь является внутренней средой организма, участвует в поддержании гомеостаза. Изменения в крови являются маркером для выявления многих патологических процессов, протекающих в организме на латентной стадии [12, 13]. Морфологический состав крови при инвазионных болезнях дает представление о сложности и тяжести патологического процесса [14], а также побочном действии противопаразитарного препарата [15].

Таким образом, токсикологическая оценка новых фармакологических средств – необходимый этап определения их безопасности [16].

Цель исследований – токсикологическая оценка азометина «С-18», обладающего противопаразитарным действием.

В задачи исследования входило:

- 1) изучение острой токсичности противопаразитарного средства азометин «С-18»;
- 2) исследование гематологических и биохимических параметров крови у естественно инвазированных нематодурусами телят до и после дегельминтизации их различными противо-

паразитарными препаратами и азометином «С-18», обладающим антигельминтным действием;

3) изучение влияния различных доз азометина «С-18» на гематологические показатели у здорового крупного рогатого скота;

4) исследование антигельминтной эффективности различных доз азометина «С-18» при нематодирозе у молодняка крупного рогатого скота.

Материал и методы. Азометин «С-18» – это ониевая соль с высшим алкильным заместителем (п-бензоальдегид – $C_{18}H_{37}Br$), активным компонентом которого является п-(4-бромбензилиден)октадекан-1-амин. Он входит в группу азометинов (шиффовых оснований), был синтезирован профессором кафедры высокомолекулярных и элементоорганических соединений И. В. Галкиной и аспирантом этой же кафедры Д. И. Бахтияровым Казанского федерального университета. Азометин «С-18» представляет собой порошок белого цвета со слабым специфическим запахом, нерастворим в воде. Растворяется в подсолнечном масле. Температура плавления составляет 58,5 °C [17].

В клинической практике планировалось использовать азометин «С-18» для дегельминтизации жвачных животных при кишечных гельминтозах. Ввиду этого при проведении доклинических токсикологических исследований был выбран пероральный метод его введения в организм лабораторных животных.

Доклинические токсикологические исследования проводили согласно Руководству по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ¹. В данных исследованиях была изучена острая токсичность азометина «С-18» на лабораторных животных, а также его влияние на гематологические показатели здорового и зараженного нематодурусами крупного рогатого скота.

Токсикологические исследования проводили в виварии кафедры эпизоотологии и паразитологии ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ в 2017-2019 гг. Острая токсичность азометина «С-18» изучена на 60 белых беспородных мышах и 36 белых беспородных крысах одинакового возраста, массой тела 18-21 и 200-220 г соответственно. Согласно методическим указаниям²,

¹Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. Под ред. Р. У. Хабриева. 2 изд., перераб. и доп. М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. 832с.

²Методические указания по определению токсических свойств препаратов, применяемых в ветеринарии и животноводстве (извлечения из нормативных и методических документов, утвержденных Министерством здравоохранения СССР, ВАСХНИЛ, Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР). М., 1985. С. 239-288.

за 12 часов до введения азометина животные не получали корм. В ходе опыта крысы и мыши были разделены на 6 групп по 6 (крысы) и по 10 (мыши) особей в каждой. В качестве растворителя для азометина применяли подсолнечное масло. Азометин вводили в желудок специальным зондом в форме масляного раствора в объеме 5,0 мл – крысам, 1,0 мл – мышам. Крысы и мыши первой группы получали азометин в дозе 400 мг/кг, второй – 800, третьей – 1200, четвертой – 1600, пятой – 2000 мг/кг. Шестая группа животных была контрольной, они получали внутрь подсолнечное масло в дозе 5,0 мл (крысы) и 1,0 мл (мыши).

Крысы и мыши получали корм через 4 часа после введения азометина, доступ к воде не ограничивали. В течение 14 дней за животными вели наблюдение. Обращали внимание на их клиническое состояние (внешний вид, поведение, состояние волосяного покрова и видимых слизистых оболочек, наличие пищевой возбудимости, подвижность, ритм дыхания, время возникновения и характер интоксикации, ее тяжесть и обратимость).

Исследование влияния азометина «С-18» на гематологические показатели животных включало две серии опытов. В первом опыте было изучено влияние некоторых известных антигельминтных препаратов (тетрамизол гранулят, альбендазол) и азометина «С-18» на гематологические показатели у больных нематодирозом крупного рогатого скота. Во втором опыте исследовали влияние различных доз азометина «С-18» на гематологические показатели у здорового крупного рогатого скота. При этом параллельно исследовали антигельминтную эффективность известных препаратов тетрамизолгранулята и альбендазола.

При изучении влияния азометина «С-18» на гематологические показатели здоровых животных руководствовались «Методическими указаниями по определению токсических свойств препаратов, применяемых в ветеринарии и животноводстве»³.

Опыты проводили на базе хозяйства «Аштыт» Арского района Республики Татарстан в 2018 году. В первом опыте использовали

40 голов молодняка крупного рогатого скота Татарстанского типа Холмогорской породы, 6-месячного возраста, естественно зараженных стронгилятами пищеварительного тракта, относящимися к роду *Nematodirus*. В ходе эксперимента по принципу аналогов животных разделили на 4 группы по 10 голов в каждой. Антигельминтные средства вводили индивидуально однократно перорально: животным первой группы – 1 %-й водный раствор 10 %-го тетрамизол-гранулята (0,15 г/1,0 кг); второй – 10 %-ая суспензия альбендазола (0,75 мл/10,0 кг); третьей – 1 %-й раствор азометина «С-18» на подсолнечном масле (2 мг/кг). Животные четвертой группы служили контролем и их не подвергали лечению. За телятами вели наблюдение в течение 30 дней. Забор крови осуществляли из хвостовой вены. Для этого использовали двустороннюю автоматическую иглу, автоматический иглодержатель и вакуумную пробирку. Кровь исследовали через 7, 15 и 30 дней после дегельминтизации. При исследовании крови сотрудничали с ветеринарной лабораторией Vetunion⁴. Схема первого опыта представлена на рисунке 1.

Во втором опыте использовали 20 клинически здоровых голов молодняка крупного рогатого скота в возрасте 4 месяцев живой массой 100 кг. Копроовоскопическими исследованиями установили отсутствие их зараженности возбудителями кишечных паразитозов. По принципу аналогов телят разделили на 2 группы по 10 голов в каждой. Животным первой группы вводили 1 %-й раствор азометина «С-18» на подсолнечном масле индивидуально внутрь в дозе, составляющей 1/40 часть от максимально вводимой белым крысам дозы (50 мг/кг). Животные второй группы служили контролем и получали внутрь растворитель азометина «С-18», то есть подсолнечное масло.

Через 7 дней телятам первой группы дозу повысили в 2 раза (100 мг/кг). До введения азометина и спустя 7 дней после введения 1/40 части максимальной дозы и после двукратного ее повышения у телят исследовали кровь. Схема опыта представлена на рисунке 2.

³Там же, С. 239-288.

⁴VET UNION. Эксперт в области ветеринарной лабораторной диагностики. Центр по обучению ветеринарных специалистов. [Электронный ресурс]. URL: <https://vetunion.ru/analysis/gematologicheskie-issledovaniya-krovi/obshhij-analiz-krovi-avtomaticheskij-podschet-kletok-mikroskopiya-mazka-krovi/>; <https://vetunion.ru/analysis/bioximicheskie-profil/ bazovyy-7/> (дата обращения 14.12.2020)

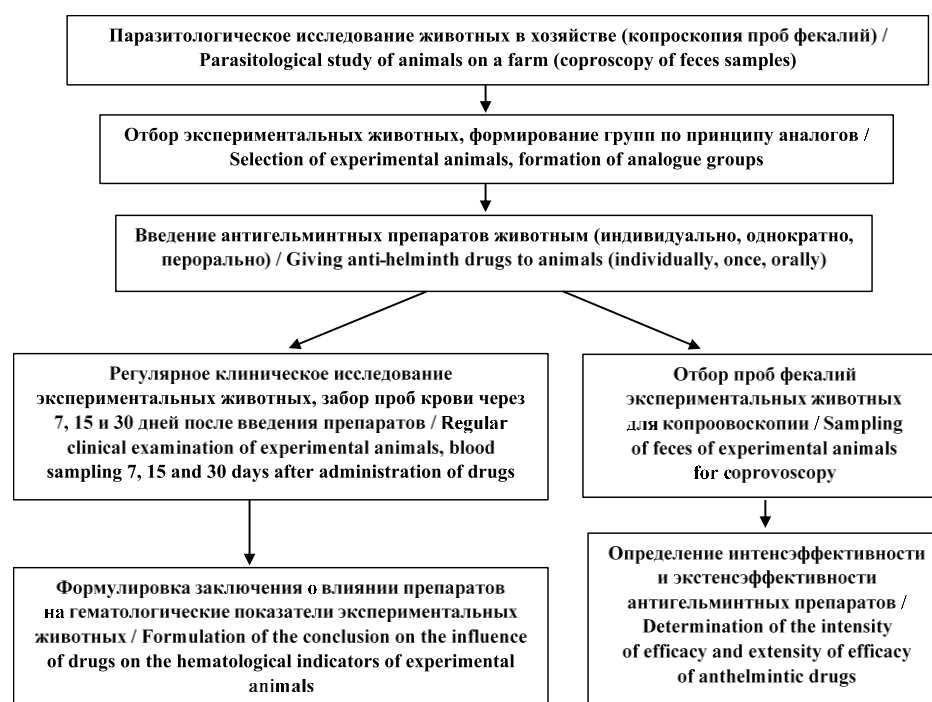


Рис. 1. Схема эксперимента по изучению гематологических показателей молодняка крупного рогатого скота после применения антигельминтных средств /

Fig. 1. Scheme of the experiment on studying hematological indices of young cattle after the use of anti-helminth drugs



Рис. 2. Схема опыта по изучению влияния азометина «C-18» на гематологические показатели молодняка здорового крупного рогатого скота /

Fig. 2. Scheme of experience on studying the effect of azomethine «C-18» on hematological indicators of young healthy cattle

Для общего клинического анализа крови был использован гематологический анализатор «Ока». Число лейкоцитов посчитали в камере Горяева. Для биохимического анализа сыворотки крови использовали биохимический анализатор Mindray Bs-200, реагенты ДДС, калибратор Trucal фирмы Dias.

Оценку терапевтической эффективности различных доз азометина «С-18» проводили на базе этого же хозяйства (ООО «Ашйт» Арского района Республики Татарстан). В опыте было задействовано 48 телят 6-месячного возраста, спонтанно зараженных стронгилиями пищеварительного тракта, относящимися к роду *Nematodirus*.

Для определения интенси́нвизированности (ИИ) и экстенсинвизированности (ЭИ) у животных индивидуально брали пробы фекалий и исследовали модифицированным методом.

В ходе опыта телят разделили на 6 групп по 8 голов в каждой. Азометин «С-18» вводили индивидуально внутрь в форме 1%-го масляного раствора. Телятам 1 группы препарат задавали в дозе 1,0 мг/кг, 2 группы – 2,0 мг/кг, 3 – 5,0 мг/кг, 4 – 10,0 мг/кг, 5 – 15,0 мг/кг и 6 группы – 20,0 мг/кг. Пробы фекалий исследовали через 15 дней после введения азометина «С-18». Схема эксперимента представлена на рисунке 3.

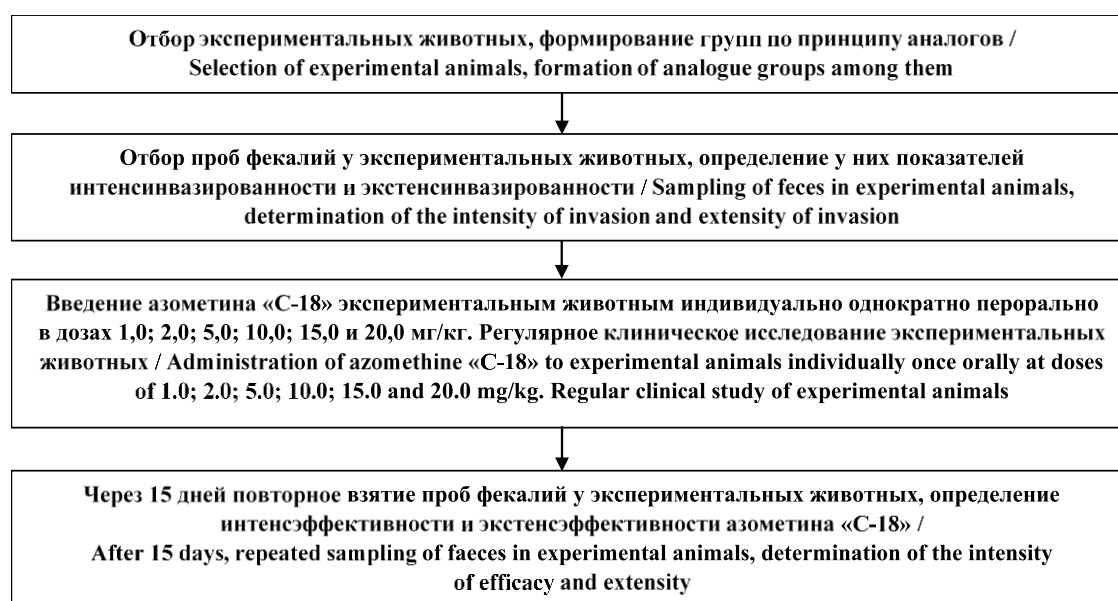


Рис. 3. Схема эксперимента по титрации терапевтической дозы азометина «С-18» при нематодирозе крупного рогатого скота /

Fig. 3. Scheme of the experiment on titration of the therapeutic dose of azomethine «C-18» in cattle affected with nematodiosis

Статистическую обработку цифровых данных проводили по методике Стьюдента-Фишера с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. После введения азометина «С-18» у всех лабораторных животных отмечалось кратковременное угнетение, которое исчезало через 2 часа. Потом крысы и мыши охотно поедали корм, адекватно реагировали на звуковые, тактильные и световые раздражители. Состояние кожного покрова и видимых слизистых оболочек было без патологических изменений.

В ходе опыта гибели животных не отмечалось. При этом проведена эвтаназия

и вскрытие по одной крысе и двух мышей из каждой группы. При патоморфологическом исследовании трупов эвтаназированных животных зарегистрирована застойная гиперемия кишечника, печени, почек, небольшие участки зернистой дистрофии в печени. Среднесмертельная доза азометина «С-18» не была вычислена, так как отсутствовала гибель опытных животных. Максимально вводимая доза составила 2000 мг/кг.

Таким образом, результаты опыта по изучению острой токсичности азометина «С-18» показали, что в дозе 2000 мг/кг он не обладает токсическим свойством и относится к III классу опасности (ГОСТ 12.1. 007-76)⁵.

⁵ГОСТ 12.1.007-76-1977. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2). М.: Стандартинформ, 2007. 7 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200233>

Во второй серии опытов исследовано влияние азометина «С-18» и нескольких антигельминтных препаратов на гематологические параметры у здорового и инвазированного нематодирусами крупного рогатого скота. До дегельминтизации у зараженных нематодирусами телят при общем анализе крови отмечены уменьшение количества эритроцитов, уровня гемоглобина, повышение числа лейкоцитов. В лейкоформуле отмечали повышение количества эозинофилов, уменьшение числа лимфоцитов (табл. 1). Данные изменения свидетельствуют о том, что в организме животных развиваются хронические воспалительные процессы, прогрессирует анемия, нарушаются метаболические процессы в клетках и тканях, расстраивается функция пищеварительной системы. Однако данные изменения пока протекают латентно, без клинических симптомов, то есть они компенсируются.

Через 7 дней после дегельминтизации число эритроцитов, лимфоцитов, уровень гемоглобина начали повышаться. В отношении количества нейтрофилов, эозинофилов, базофилов, наоборот, отмечали обратную динамику. У телят контрольной группы все вышеперечисленные патологические изменения в крови прогрессировали, то есть отмечалось уменьшение числа эритроцитов, лейкоцитов, уменьшение содержания гемоглобина. В лейкограмме установили эозинофилию и лимфоцитопению (табл. 1). У животных опытных групп отмечали повышение числа эритроцитов, уменьшение числа лейкоцитов по отношению к аналогичным показателям у телят контрольной группы со статистической достоверностью $p < 0,05$. Также аналогичные изменения установили в показателях лейкограммы (число сегментоядерных нейтрофилов, базофилов, эозинофилов, лимфоцитов и моноцитов). Отмечается и достоверное изменение числа палочкоядерных нейтрофилов, функция которых заключается в обеспечении фагоцитоза и хемотаксиса ($p < 0,01$). То есть после действия антигельминтных веществ, в кишечнике останавливается воспалительный процесс, восстанавливается структура слизистой оболочки.

Через 15 и 30 дней после дегельминтизации положительная динамика восстановления нарушенных показателей крови у животных, получавших различные антигельминтные препараты, сохранялась. У телят третьей груп-

пы, которым вводили азометин «С-18», восстановление морфологических показателей протекало быстрее, чем у животных первой и второй групп.

До лечения у животных отмечали гипопротейнемию, гипогликемию, повышение активности трансаминаз. Через 7, 15 и 30 дней после введения антигельминтных препаратов биохимическим анализом сыворотки крови телят установили восстановление нарушенных параметров. У телят контрольной группы в сыворотке крови прогрессировали гипопротейнемия, гипогликемия, развивались дегенеративные процессы в печени, о чем свидетельствовали высокие показатели АЛТ и АСТ (табл. 2). Через 7, 15 и 30 дней после лечения у животных опытных групп были изменения в следующих биохимических параметрах: глобулины, ферменты, АЛТ, АСТ, уровень глюкозы, которые повышались по отношению к аналогичным показателям телят контрольной группы ($p < 0,05$ и $p < 0,01$). Можно сделать вывод, что после освобождения организма от гельминтов у животных останавливались воспалительные процессы в сычуге и тонком отделе кишечника, восстанавливалась структура слизистой оболочки тонких кишок, нормализовались процессы пищеварения и всасывания питательных веществ, корректировалась функция печени и поджелудочной железы, клетки начинали получать все необходимые питательные вещества. В целом, восстанавливался обмен веществ, гомеостаз и неспецифические механизмы защиты организма.

После введения азометина «С-18» в дозах 50,0 и 100,0 мг/кг у телят опытной группы не регистрировали никаких изменений клинического статуса. Состояние кожи, видимых слизистых оболочек, пищевая возбудимость, раздражимость были, как и у животных контрольной группы.

Телятам первой группы вводили 1/40 часть (50 мг/кг) от максимальной дозы азометина «С-18». Животные контрольной группы получали внутрь подсолнечное масло. Через 7 дней у телят брали кровь. У животных опытной группы регистрировали достоверное повышение количества палочкоядерных нейтрофилов на 13,0 % ($1,5 \pm 0,13$) и снижение числа лимфоцитов на 27,0 % ($39,4 \pm 0,37$) по сравнению с аналогичными показателями у телят контрольной группы ($1,3 \pm 0,16$; $54,0 \pm 0,28$) (табл. 3).

Таблица 1 – Морфологические показатели крови у телят, больных нематодозом, до и после лечения различными препаратами /
Table 1 – Morphological blood indicators in calves affected with nematodiosis, before and after treatment with various drugs

№ группы / № of group	Эритроциты, x10 ¹² /л / Erythrocytes, x10 ¹² /л	Лейкоциты, x10 ⁹ /л / Leucocytes, x10 ⁹ /л	Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	Лейкоцитарная формула, % / Leukocyte formula, %					лимфоциты / lymphocytes	моноциты / monocytes
				палочкоядерные нейтрофилы / stick-nuclear neutrophils	пегментадерные нейтрофилы / segmento- nuclear neutrophils	эозинофилы / eosinophils	базофилы / basophiles			
Референсные значения ⁶ / The reference values										
	5,0-10,0	4,0-12,0	80,0-150,0	3,0-10,0	18,0-30,0	3,0-10,0	0,0-1,5	47,0-66,0	2,0-7,0	
До лечения / Before treatment										
1	4,2±0,31	17,1±0,31	84,3±2,73	4,5±0,24	48,5±0,31	24,8±0,28	1,7±0,16	19,1±0,44	1,4±0,11	
2	4,2±0,21	17,5±0,29	81,1±0,57	4,2±0,22	48,4±0,73	25,1±0,18	1,5±0,18	19,5±0,87	1,3±0,15	
3	4,1±0,24	18,2±0,35	82,7±0,58	4,3±0,27	48,1±0,29	25,8±0,35	1,6±0,28	18,7±0,77	1,5±0,21	
4	4,5±0,25	17,2±0,27	80,6±0,55	4,3±0,18	45,4±0,28	24,9±0,19	1,3±0,19	23,0±0,41	1,1±0,15	
Через 7 дней после лечения / After 7 days of treatment										
1	4,6±0,23*	17,2±0,25*	89,1±1,37	3,5±0,15	46,1±0,21*	21,2±0,28	0,9±0,19*	27,3±0,43	1,0±0,18*	
2	4,6±0,26*	17,0±0,31*	92,0±0,57	3,5±0,23**	47,9±0,87*	24,6±0,32*	1,2±0,19*	21,8±0,81*	1,0±0,13*	
3	4,8±0,23*	17,3±0,39*	94,7±0,65	3,4±0,31**	41,3±0,49	21,5±0,29	1,1±0,35*	31,8±0,54	0,9±0,18*	
4	4,3±0,24	17,4±0,29	75,5±0,51	4,4±0,18	45,6±0,34	25,1±0,31	1,5±0,19	22,1±0,42	1,3±0,16	
Через 15 дней после лечения / After 15 days of treatment										
1	5,3±0,29	16,3±0,33**	95,2±0,35	3,0±0,35	44,2±0,21	19,3±0,41	0,4±0,01	32,8±0,46	0,3±0,04	
2	5,1±0,31	16,2±0,46**	102,9±0,59	3,0±0,19	37,8±1,25	19,1±0,35	0,9±0,17*	38,5±1,42	0,7±0,14	
3	5,6±0,22	14,5±0,42	105,5±0,47	2,9±0,36	35,2±0,36	17,6±0,29	0,6±0,32**	43,5±0,37	0,2±0,02	
4	4,1±0,22	17,6±0,27	70,5±0,38	4,6±0,18	45,7±0,26	25,4±0,29	1,6±0,19	21,2±0,39	1,5±0,14	
Через 30 дней после лечения / After 30 days of treatment										
1	5,8±0,39	12,4±0,17	100,4±1,05	2,3±0,29	33,1±0,23	17,8±0,51	0,4±0,09	46,2±0,19	0,2±0,07	
2	6,0±0,21	12,6±0,45	110,8±0,53	2,3±0,28	29,3±0,99	17,1±0,34	0,5±0,01	50,4±0,36	0,4±0,01	
3	6,2±0,22	11,8±0,43	112,5±0,42	2,2±0,36	28,5±0,39	16,3±0,28	0,3±0,06	52,6±0,38	0,1±0,07	
4	3,9±0,18	17,8±0,27	66,2±0,35	4,8±0,18	45,9±0,25	25,6±0,31	1,8±0,18	20,3±0,37	1,6±0,15	

Примечания: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; 1 группа – телята, леченные тетрализол гранулятом (0,15 г/1,0 кг), 2 группа – 10 % суспензией альбендазола (0,75 мл/10,0 кг), 3 группа – азометином «С-18» (2 мг/кг), 4 группа – контрольная без лечения / Note: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; 1 group – calves treated with tetramizole granulate (0,15 g/1,0 kg), 2 group – 10% suspension of albendazole (0,75 ml/10,0 kg), 3 group – azomethine "C-18" (2 mg/kg), 4 group – control without treatment

⁶URL: <https://vetunion.ru/analysis/gematologicheskie-issledovaniya-krovi/obshhij-analiz-krovi-avtomaticheskij-podschet-kletok-mikroskopiya-mazka-krovi/>

Таблица 2 – Биохимические показатели сыворотки крови телят, естественно зараженных нематодирусами, до и после лечения различными антигельминтными препаратами /
Table 2 – Biochemical parameters of calf blood serum, naturally infected with nematodiruses, before and after treatment with various anti-helminth drugs

№ группы / № of group	Общий белок, г/л / Total protein, g/l	Альбумины, г/л / Albumins, g/l	Глобулины, г/л / Globulins, g/l	АЛТ, ед/л / ALT, u/l	АСТ, ед/л / AST, u/l	Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l
Референсные значения ⁷ / The reference values						
	59,0-82,0	27,0-43,0	32,0-39,0	17,0-37,0	48,0-100,0	2,1-4,1
До лечения / Before treatment						
1	42,2±0,37	17,3±0,28	24,9±0,32	38,1±3,11	107,2±0,26	1,5±0,16
2	42,7±0,24	17,5±0,18	25,2±0,23	40,1±0,24	108,9±0,61	1,2±0,25
3	42,1±0,42	17,2±0,19	24,9±0,41	39,7±0,35	109,2±0,24	1,2±0,23
4	42,7±0,25	17,5±0,23	25,2±0,43	38,2±0,42	107,9±0,36	1,5±0,18
Через 7 дней после лечения / After 7 days of treatment						
1	45,3±0,34**	21,4±0,25	23,9±0,41*	37,9±0,38*	106,9±0,27**	1,7±0,14*
2	48,6±0,29	22,8±0,25	25,8±0,36*	38,7±0,52*	107,5±0,32*	1,5±0,29*
3	49,3±0,27	20,7±0,31	28,6±0,32	38,5±0,47*	107,4±0,34*	1,6±0,26*
4	42,3±0,53	17,3±0,42	25,0±0,46	38,4±0,35	108,3±0,51	1,3±0,16
Через 15 дней после лечения / After 15 days of treatment						
1	50,2±0,35	24,2±0,25	26,0±0,45*	37,5±0,33**	106,5±0,42	1,8±0,18**
2	53,9±0,27	25,0±0,21	28,9±0,39	37,6±0,35**	106,7±0,53**	1,8±0,32*
3	54,2±0,42	25,2±0,36	29,0±0,37	35,6±0,33	105,7±0,37	1,9±0,31*
4	42,0±0,44	17,1±0,25	24,9±0,42	38,8±0,32	108,5±0,31	1,2±0,11
Через 30 дней после лечения / After 30 days of treatment						
1	58,2±0,32	27,3±0,25	30,9±0,49	37,2±0,34	106,1±0,36	1,9±0,12
2	60,2±0,23	28,6±0,26	31,6±0,33	35,4±0,27	104,9±0,36	2,0±0,38
3	62,4±0,41	30,6±0,22	31,8±0,46	35,1±0,37	104,0±0,28	2,3±0,21
4	41,6±0,44	17,6±0,24	24,0±0,35	39,3±0,36	108,8±0,27	0,9±0,13

Примечания: * p<0,05; ** p<0,01; 1 группа – телята, леченные тетрализол гранулятом (0,15 г/1,0 кг), 2 группа – 10 %-ой суспензией альбендазола (0,75 мл/10,0 кг), 3 группа – азометином «С-18» (2 мг/кг); 4 группа – контрольная без лечения / Note: * p< 0.05; ** p< 0.01; 1 group – calves treated with tetramizole granulate (0.15 g/1.0 kg), 2 group – 10% suspension of albendazole (0.75 ml/10.0 kg), 3 group – azomethine "C-18" (2 mg/kg), 4 group – control without treatment

Телятам первой группы 1/40 часть от максимальной дозы азометина «С-18» увеличили двукратно (100 мг/кг). Животным контрольной группы вводили подсолнечное масло. Через 7 дней у телят брали кровь для гематологических исследований. У животных опытной группы отмечали повышение количества палочкоядерных нейтрофилов на 29,0 % (1,7±0,21), базофилов на 61,0 % (1,8±0,04) и снижение числа лимфоцитов на 35,0 % (35,2±0,31) по сравнению с данными у телят

контрольной группы (1,2±0,19, 0,7±0,04, 54,3±0,33).

После введения азометина «С-18» в дозе 50 мг/кг у телят опытной группы установили достоверное снижение уровня глюкозы на 52,0 % (1,2±0,18), повышение активности щелочной фосфатазы на 43,0 % (222,0±1,41) и снижение содержания мочевины на 50,0 % (1,8±0,32) по сравнению с показателями у животных контрольной группы (2,5±0,11, 126,2±0,21, 3,6±0,31, соответственно) (табл. 4).

⁷URL: <https://vetunion.ru/analysis/bioximicheskie-profil/bazovyj-7/>

Таблица 3 – Морфологические показатели крови у телят после введения 1/40 (50 мг/кг) части от максимально вводимой дозы азометина «С-18» /
Table 3 – Morphological values of blood in calves after administration of 1/40 (50 mg/kg) part of maximum administered dose of azomethine «C-18»

№ группы / № of group	Эритроциты, x10 ¹² /л / Erythrocytes, x10 ¹² /л	Лейкоциты, x10 ⁹ /л / Leucocytes, x10 ⁹ /л	Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	Лейкоцитарная формула, % / Leukocyte formula, %					моноциты / monocytes
				палочкоядерные нейтрофилы / stick-nuclear neutrophils	сегментоядерные нейтрофилы / segmento- nuclear neutrophils	эозинофилы / eosinophils	базофилы / basophiles	лимфоциты / lymphocytes	
Референсные значения ⁸ / The reference values									
	5,0-10,0	4,0-12,0	80,0-150,0	3,0-10,0	18,0-30,0	3,0-10,0	0,0-1,5	47,0-66,0	2,0-7,0
До введения азометина «С-18» / Prior to azomethine administration «C-18»									
1	6,4±0,32	6,3±0,22	96,0±3,51	1,1±0,13	33,3±0,48	11,8±1,08	0,7±0,02	52,9±0,57	0,2±0,01
2	6,3±0,34	6,2±0,31	94,0±0,32	1,2±0,15	31,2±0,29	12,5±0,35	0,9±0,05	54,1±0,31	0,1±0,06
Через 7 дней после введения 1/40 части от максимальной дозы (50 мг/кг) / 7 days after administration of the 1/40 part of the maximum dose (50 mg/kg)									
1	6,3±0,15	6,5±0,37	95,0±0,25	1,5±0,13*	38,5±0,26	17,8±0,29	1,6±0,27	39,4±0,37*	1,2±0,03
2	6,3±0,36	6,2±0,23	93,1±0,23	1,3±0,16	31,4±0,33	12,4±0,26	0,8±0,03	54,0±0,28	0,1±0,07
Через 7 дней после введения двукратно повышенной максимальной дозы (100 мг/кг) / 7 days after administration of atwice-increased maximum dose (100 mg/kg)									
1	6,2±0,45	6,7±0,36	93,5±0,31	1,7±0,21*	41,3±0,42	18,5±0,38	1,8±0,04**	35,2±0,31**	1,5±0,18
2	6,4±0,26	6,1±0,24	94,3±0,28	1,2±0,19	31,5±0,43	12,2±0,26	0,7±0,04	54,3±0,33	0,1±0,07

Примечание: 1 группа – экспериментальная, в которой животные получали азометин «С-18» в дозах 50 и 100 мг/кг; 2 группа – контрольная, в которой животные получали подсолнечное масло; * p<0,05; ** p<0,01 /
Note: 1 group – experimental, in which animals received azomethine "C-18" at doses of 50 and 100 mg/kg; 2 group – control, in which animals received sunflower oil;

* p < 0.05; ** p < 0.01

⁸URL: <https://vetunion.ru/analysis/gematologicheskie-issledovaniya-krovi/obshnij-analiz-krovi-avtomaticheskij-podschet-kletok-mikroskopiya-mazka-krovi/>

Таблица 4 – Биохимические показатели сыворотки крови телят после введения 1/40 (50 мг/кг) части от максимальной дозы азометина «С-18»

Table 4 – Biochemical values of calf blood serum after administration of 1/40 (50 mg/kg) part of maximum azomethine «C-18» dose

№ группы / № of group	Общий белок, г/л / Total protein, g/l	Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	Щелочная фосфатаза, ед/л / Alkaline phosphatase, u/l	АЛТ, ед/л / ALT, u/l	АСТ, ед/л / AST, u/l	Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l
Референсные значения ⁹ / The reference values						
	59,0-82,0	2,1-4,1	17,0-153,0	17,0-37,0	48,0-100,0	3,5-9,2
До введения азометина «С-18» / Prior to «C-18» azomethine administration						
1	75,0±0,32	2,4±0,26	125,2±0,29	20,5±0,28	91,1±0,41	3,6±0,37
2	74,1±0,22	2,5±0,25	122,7±0,23	21,1±0,34	90,4±0,32	3,5±0,28
Через 7 дней после введения 1/40 части от максимальной дозы (50 мг/кг) / 7 days after administration of the 1/40 part of the maximum dose (50 mg/kg)						
1	73,1±0,28	1,2±0,18*	222,0±1,41**	24,1±0,32	96,3±0,34	1,8±0,32*
2	74,0±0,21	2,5±0,11	126,2±0,21	21,0±0,28	91,2±0,22	3,6±0,31
Через 7 дней после введения двукратно повышенной максимальной дозы (100 мг/кг) / 7 days after administration of atwice-increased maximum dose (100 mg/kg)						
1	72,7±0,23	1,1±0,16*	391,5±0,35**	24,0±0,26	96,1±0,34	1,7±0,37*
2	74,2±0,23	2,5±0,17	127,2±0,29	21,6±0,28	91,4±0,23	3,3±0,27

Примечание: 1 группа – экспериментальная, в которой животные получали азометин «С-18» в дозах 50 и 100 мг/кг; 2 группа – контрольная, в которой животные получали подсолнечное масло; * p<0,05; ** p<0,01/

Note: 1 group – experimental, in which animals received azomethine "C-18" at doses of 50 and 100 mg/kg; 2 group – control, in which animals received sunflower oil; * p < 0.05; ** p < 0.01

Телятам опытной группы дозу азометина «С-18» 50 мг/кг увеличили двукратно. При биохимическом исследовании сыворотки крови у опытных животных отмечали снижение уровня глюкозы на 56,0 % (1,1±0,16), повышение активности щелочной фосфатазы на 68,0 % (391,5±0,35) и снижение содержания мочевины на 49,0 % (1,7±0,37) по сравнению с данными параметрами у телят контрольной группы (2,5±0,17, 127,2±0,29, 3,3±0,27). Статистически достоверные изменения у животных опытной группы отмечали в следующих показателях: число палочкоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, базофилов, уровень глюкозы, щелочной фосфатазы, мочевины. То есть, после введения высоких доз азометина «С-18», в печени, поджелудочной железе развивается асептический, воспалительный процесс с доброкачественным течением. Однако все равно по морфологическим и биохимическим показателям крови можно судить о функциональной недостаточности этих органов. При изучении антигельминтной эффективности различных доз азометина «С-18» у опытных телят исследовали пробы фекалий и определяли показатели интенсивности и экстенсивности инвазии.

роваемости. Интенсивность инвазии у телят варьировала от 141,7±4,36 до 149±4,62 яиц нематодиров в 1 г фекалий. Экстенсивность инвазии составила 100,0 %.

Через 15 дней после введения различных доз азометина «С-18» у животных повторно брали пробы фекалий для копроовоскопии. Результаты копроовоскопических исследований представлены в таблице 5.

Таким образом, использование «С-18» в дозах 2, 5, 10, 15 и 20 мг/кг показало примерно одинаковую эффективность. Интенсивность его варьировала от 95,3 до 97,9 %. В качестве терапевтической была выбрана доза 2 мг/кг. Экстенсивность составила 87,5 %.

Закключение. В данном исследовании проведена токсикологическая оценка азометина «С-18», обладающего противопаразитарным действием. Изучена его острая токсичность при внутрижелудочном введении, исследовано влияние азометина на гематологические параметры здорового и зараженного нематодиров крупного рогатого скота. Также исследована антигельминтная эффективность различных доз азометина при нематодирове крупного рогатого скота.

⁹URL: <https://vetunion.ru/analysis/bioximicheskie-profil/bazovyj-7/>

Таблица 5 – Терапевтическая эффективность различных доз азометина «С-18» при нематодирозе крупного рогатого скота (n = 8) /

Table 5 – Therapeutic efficacy of different doses of azomethine "C-18" in cattle affected with nematodirosis (n = 8)

№ группы / № of group	Доза вещества, мг/кг / Dose of substance, mg/kg	Интенсивность, % / Intensity of efficacy, %	Экстенсивность, % / Extensivity of efficacy, %
1	1	84,9	62,5
2	2	95,3	87,5
3	5	95,8	87,5
4	10	96,5	87,5
5	15	97,2	87,5
6	20	97,9	87,5

Среднесмертельная доза азометина «С-18» не была вычислена, и падеж среди лабораторных животных не зарегистрирован. Максимально введенная доза составила 2000 мг/кг. В этой дозе азометин не обладает токсическим действием. Он относится к III классу опасности (ГОСТ 12.1. 007-76).

У телят, естественно инвазированных гельминтами рода *Nematodirus*, в крови отмечали уменьшение количества эритроцитов, уровня гемоглобина, лейкоцитоз, эозинофилию, лимфоцитопению, гипопротейнемию, гипогликемию и повышение активности трансаминаз. Гематологические и биохимические показатели крови телят, больных нематодирозом, полностью восстановились до референсных значений на 30-й день после дегельминтизации. У животных, которым вводили азометин «С-18», восстановление показателей крови

протекало быстрее, чем у телят, обработанных тетраимизолгранулятом и альбендазолом.

После введения азометина «С-18» клинически здоровым телятам в дозах 50 и 100 мг/кг (1/40 и 1/20 часть от максимальной дозы, вводимой белым крысам) в крови у животных регистрируется достоверное снижение числа лимфоцитов, повышение числа палочкоядерных нейтрофилов и базофилов. При биохимическом анализе сыворотки крови у телят отмечается достоверное снижение уровня глюкозы и мочевины, а также повышение активности щелочной фосфатазы.

Применение азометина «С-18» в дозах 2, 5, 10, 15 и 20 мг/кг показало примерно одинаковую эффективность. Интенсивность его варьировала от 95,3 до 97,9 %. В качестве терапевтической была выбрана доза 2 мг/кг. Экстенсивность составила 87,5 %.

Список литературы

1. Стариков Р. А., Колесников В. И. Экономический ущерб от стронгилятозов овец. Ветеринарная патология. 2008;(4(27)):125-127. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16825317>
2. Сафиуллин Р. Т., Хромов К. А. Ущерб от смешанной инвазии коров и молодняка крупного рогатого скота, вызванной фасциолами и стронгилятами пищеварительного тракта. Российский паразитологический журнал. 2009;(2):81-85. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12874693>
3. Плиева А. М., Гадаборшева М. А., Дзармотова З. И. Фауна гельминтов крупного рогатого скота в равнинной и горной части Республики Ингушетия. Биологическое разнообразие Кавказа и юга России: мат-лы XXI Междун. научн. конф. Махачкала, 2020. С. 350-354. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44324623>
4. Гайворонский В. И. Стронгилятозы пищеварительного тракта у крупного рогатого скота и вызываемые ими изменения. Вестник Донского ГАУ. 2013;(4):11-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21474872>
5. Глазунова А. А., Гусева О. С., Зайцев В. В. Влияние гельминтозной инвазии на гематологические показатели крови коз. Ветеринария и кормление. 2015;(4):48-49.
6. Лутфуллин М. Х., Шангараев Р. И., Галаяудинова Р. Р., Терентьева З. Х. Результаты исследования острой и хронической токсичности противопаразитарного соединения NB. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(6 (74)):145-147. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36716444>

7. Сыса С. А. Динамика морфологических и биохимических показателей крови при комплексном лечении дисбиозов телят. Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2017;53(2):145-148.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30058545>
8. Шангараев Р. И., Зеленская С. А., Галяутдинова Р. Р. Раздражающее и аллергизирующее свойства соединения «С-18». Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации в АПК: сб. мат-лов Всеросс. науч.-прак. конф., посвящ. 145-летию академии. Казань: Казанская ГАВМ имени Н. Э. Баумана, 2018. С. 207-212. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41394647&pf=1>
9. Абрамов В. Е., Квичко Л. И., Архипов И. А., Сафарова М. И. К фармакотоксикологии цифлунита. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2013;(14):14-16.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30461585>
10. Арисова Г. Б. Фармако-токсикологическая оценка противопаразитарного препарата для собак и кошек «Гельминтал Мини Сироп». Российский паразитологический журнал. 2020;14(3):90-98.
DOI: <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2020-14-3-90-98>
11. Боляхина С. А., Ефремова Е. А., Насартдинова Г. Ф., Марченко В. А. Исследование острой и субхронической токсичности противопаразитарных кормовых гранул для собак. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011;(9-10 (222)):95-103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16985468>
12. Козлов С. А., Мусаев Б. М. Влияние антигельминтика митранокса на гематологические и биохимические показатели крови крыс в субхроническом опыте. Российский паразитологический журнал. 2015;(4):95-101. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25464690>
13. Мамыкова О. И. Сравнительная оценка побочных иммунобиологических эффектов антигельминтных препаратов альбендазола и мебендазола – производных бензимидазола. Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2013;(14):217-219. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30461656>
14. Столярова Ю. А. Влияние Акаригеля на состояние организма кошек. Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2013;49(1-1):69-70. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21527619>
15. Desrues O, Pena-Espinoza M., Hansen T. V. A., Enemark H. M., Thamsborg S. L. Anti-parasitic activity of pelleted sainfoin (*Onobrichis viciifolia*) against *Ostertagia ostertagi* and *Cooperia onchophora* in calves. Journal of Parasitic Vectors. 2016;9(1):329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13071-016-1617-z>
16. Ali M. S., Saeed K., Rashid I., Ljaz M., Akbar H., Rashid M., Ashraf K. Anthelmintic drugs: their efficiency and cost effectiveness in different parity cattle. Journal of Parasitology. 2018;104(1):79-85. DOI: <https://doi.org/10.1645/17-4>
17. Галкина И. В. Средство для лечения нематодозов сельскохозяйственных животных, содержащее 1Ч-(4-бромбензилиден)октадекан-1-амин: пат. №2700795 (Российская Федерация). № 2018101367: заявл. 16.01.2018, опубл. 23.09.2019. Бюл. 27. 19 с.
Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2700795C2_20190923

References

1. Starikov R. A., Kolesnikov V. I. *Ekonomicheskiy ushcherb ot strongilyatozov ovets*. [Economic damage from strongylatosis in sheep]. *Veterinarnaya patologiya*. 2008;(4(27)):125-127. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16825317>
2. Safiullin R. T., Khromov K. A. *Ushcherb ot smeshannoy invazii korov i molodnyaka krupnogo rogatogo skota, vyzvannoy fastsiolami i strongilyatami pishchevaritel'nogo trakta*. [Damage from mixed infection caused by *Fasciola* sp. and gastro-intestinal strongylates on cows and young growth cattle]. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal*= Russian Journal of Parasitology. 2009;(2):81-85. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12874693>
3. Plieva A. M., Gadaborsheva M. A., Dzarmotova Z. I. *Fauna gel'mintov krupnogo rogatogo skota v ravninnoy i gornoy chaste Respubliki Ingushetiya*. [Cattle helminth fauna in the plain and mountain part of the Republic of Ingushetia]. *Biologicheskoe raznoobrazie Kavkazai yuga Rossii: matter. XXI Mezhdunarodn. nauchn. konf.* [Biological diversity of the Caucasus and southern Russia: Proceedings of the XXIst International Scientific Conf.]. Makhachkala, 2020.pp. 350-354. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44324623>
4. Gayvoronskiy V. I. *Strongilyatozy pishchevaritel'nogo trakta u krupnogo rogatogo skota I vyzyvayemye imi izmeneniya*. [Strongilyatozy digestive tract in cattle and caused to change]. *Vestnik Donskogo GAU*=Vestnik of Don State Agrarian University. 2013;(4):11-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21474872>
5. Glazunova A. A., Guseva O. S., Zaytsev V. V. *Vliyanie gel'mintoznoy invazii na gematologicheskie pokazateli krovi koz*. [Influence of helminth invasion on hematological indicators in blood of goats]. *Veterinariya i kormlenie*. 2015;(4):48-49. (In Russ.).

6. Lutfullin M. Kh., Shangaraev R. I., Galyautdinova R. R., Terent'eva Z. Kh. *Rezultaty issledovaniya ostroy I khronicheskoy toksichnosti protivoparazitarnogo soedineniya NB*. [The results of studies on acute and chronic toxicity of the antiparasitic NB compound]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(6 (74)):145-147. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36716444>

7. Sysa S. A. *Dinamika morfologicheskikh i biokhimicheskikh pokazateley krovi pri kompleksnom lechenii disbiovov telyat*. [Dynamics of morphological and biochemical indices of the complex treatment of dysbiosis of calves]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny»*. 2017;53(2):145-148. (In Belarus).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30058545>

8. Shangaraev R. I., Zelenskaya S. A., Galyautdinova R. R. *Razdrzhayushchee i allergeziryuyushchee svoystva soedineniya «C-18»*. [Irritating and allergic properties of the compound «C-18»]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii v APK: sb. mat-lov Vseross. nauch.-prak. konf., posvyashch. 145-letiyu akademii*. [Modern scientific research: current issues, achievements and innovations in the agro-industrial complex: Collection of scientific papers]. Kazan': Kazanskaya GAVM imeni N. E. Baumana, 2018. pp. 207-212. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41394647&pf=1>

9. Abramov V. E., Kvichko L. I., Arkhipov I. A., Safarova M. I. *K farmakotoksikologii tsiflunita*. [To the pharmacotoxicology of cyflunita]. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami* = Theory and practice of parasitic disease control. 2013;(14):14-16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30461585>

10. Arisova G. B. *Farmako-toksikologicheskaya otsenka protivoparazitarnogo preparata dlya sobak I koshek «Gel'mintal Mini Sirop»*. [Pharmaco-toxicological Assessment of Antiparasitic Drug for Dogs and Cats «Gelmintal Mini Syrup»]. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* = Russian Journal of Parasitology. 2020;14(3):90-98. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2020-14-3-90-98>

11. Bolyakhina S. A., Efremova E. A., Nasartdinova G. F., Marchenko V. A. *Issledovanie ostroy I subkhronicheskoy toksichnostiproti voparazitarnykh kormovykh granul dlya sobak*. [Investigation of acute and subchronic toxicity of antiparasitic feed granules for dogs]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2011; (9-10 (222)): 95-103. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16985468>

12. Kozlov S. A., Musaev B. M. *Vliyanie antigel'mintika mitranoksa na gematologicheskie I biokhimicheskie pokazateli krovi krysa v subkhronicheskom opyte*. [Effect of the anthelmintic drug mitranox on hematological and biochemical values in the blood of rats in subchronic experiment]. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* = Russian Journal of Parasitology. 2015;(4):95-101. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25464690>

13. Mamykova O. I. *Sravnitel'naya otsenka pobochnykh immunobiologicheskikh effektivov antigel'mintnykh preparatov al'bendazola i mebendazola – proizvodnykh benzimidazola*. [Comparative evaluation of adverse effects of anthelmintics albendazole and mebendazole attributed to benzimidazole carbamates]. *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami* = Theory and practice of parasitic disease control. 2013;(14):217-219. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30461656>

14. Stolyarova Yu. A. *Vliyanie Akarigelya na sostoyanie organizma koshek*. [The effect of Akarigel on cats]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny»*. 2013;49(1-1):69-70. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21527619>

15. Desrues O, Pena-Espinosa M., Hansen T. V. A., Enemark H. M., Thamsborg S. L. Anti-parasitic activity of pelleted sainfoin (*Onobrichis viciifolia*) against *Ostertagia ostertagi* and *Cooperia onchophora* in calves. *Journal of Parasitic Vectors*. 2016;9(1):329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13071-016-1617-z>

16. Ali M. S., Saeed K., Rashid I., Ljaz M., Akbar H., Rashid M., Ashraf K. Anthelmintic drugs: their efficiency and cost effectiveness in different parity cattle. *Journal of Parasitology*. 2018;104(1):79-85. DOI: <https://doi.org/10.1645/17-4>

17. Galkina I. V. The drugs containing 1Ch-(4-brombenziliden) octadecan-1-amine for treatment nematodosis in farm animals: patent Russian Federation no. 2700795.2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2700795C2_20190923

Сведения об авторах

Шангараев Рафкат Искандарович, лаборант кафедры эпизоотологии и паразитологии ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана», Сибирский тракт, д. 35, г. Казань, Российская Федерация, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3689-1442>

✉ **Лутфуллин Минсагит Хайруллович**, доктор вет. наук, профессор кафедры эпизоотологии и паразитологии, ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана», Сибирский тракт, д. 35, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3403-2759>, e-mail: parasitology-kazan@mail.ru

Тимербаева Разалия Рустамовна, кандидат вет. наук, доцент кафедры эпизоотологии и паразитологии, ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана», Сибирский тракт, д. 35, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3336-3305>

Гиззатуллин Рамис Разяпович, кандидат вет. наук, старший преподаватель кафедры эпизоотологии и паразитологии, ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана», Сибирский тракт, д. 35, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6525-7075>

Гиззатуллина Рамия Разяповна, кандидат вет. наук, ассистент кафедры эпизоотологии и паразитологии, ФГБОУ ВО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана», Сибирский тракт, д. 35, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5408-8229>

Information about the authors

Rafkat I. Shangaraev, laboratory assistant, the Department of Epizootology and Parasitology, the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Siberian Tract, d. 35, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3689-1442>

✉ **Minsagit H. Lutfullin**, DSc of Veterinary science, professor at the Department of Epizootology and Parasitology, the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Siberian Tract, d. 35, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3403-2759>, e-mail: parasitology-kazan@mail.ru

Razalia R. Timerbayeva, PhD in Veterinary science, associate professor at the Department of Epizootology and Parasitology, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Siberian Tract, d. 35, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6525-7075>

Ramis R. Guzzatullin, PhD in Veterinary science, senior teacher, the Department of Epizootology and Parasitology, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Siberian Tract, d. 35, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6525-7075>

Ramia R. Gizzatullina, PhD in Veterinary science, teaching assistant, the Department of Epizootology and Parasitology, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Siberian Tract, d. 35, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420029, e-mail: kgavm_baumana@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5408-8229>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.119-127>



УДК 633.491:631.362.3

Лабораторные исследования ударных воздействий роликовой сортировальной машины на клубни картофеля

© 2021. А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв[✉], А. Г. Аксенов, Н. В. Сазонов
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

Существующие машины для сортирования картофеля повреждают товарную продукцию в результате взаимодействия клубней картофеля между собой, с рабочими органами и комками почвы. Наибольший процент повреждений клубней картофеля происходит в результате их взаимодействия с рабочими органами машин для сортирования. С целью определения места наибольшего силового воздействия рабочих органов сортирующих машин на клубень картофеля и проведения последующих мероприятий по устранению негативных воздействий в конструкции данных машин проведены лабораторные исследования с использованием программного инструмента «Электронный картофель Tuber Log». Представлены результаты сравнительных исследований силового воздействия сортирующей поверхности на электронный клубень картофеля при различных значениях поступательной скорости движения и времени взаимодействия рабочей поверхности машины для сортирования клубней картофеля роликового типа. Анализ графических зависимостей показал, что наибольшее силовое воздействие (до 22 Н) на клубень картофеля приходится на временной интервал значений от 8,5 до 9,5 с при этом среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации составляют $\sigma = 5,7$ и $v = 24,8$ % соответственно. Анализ экспериментальных данных показал, что наиболее «щадящим» силовым воздействием рабочих органов машины для сортирования при поступательной скорости движения роликового полотна 1,4 м/с, на протяжении всего технологического процесса сортирования является минимальное силовое воздействие на сортируемую продукцию в диапазоне от 3 до 6,5 Н, что составляет 28-31 % от максимального силового воздействия рабочих органов при скоростях движения 1,8 и 2,2 м/с.

Ключевые слова: уборка, силовое воздействие, картофель, рабочие органы, машина для сортирования

Благодарности: работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых (стипендия Президента РФ СП-1004.2021.1).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Сазонов Н. В. Лабораторные исследования ударных воздействий роликовой сортировальной машины на клубни картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):119-127. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.119-127>

Поступила: 17.10.2020

Принята к публикации: 15.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Laboratory studies of the impact of a roller sorting machine on potato tubers

© 2021. Alexey S. Dorokhov, Alexey V. Sibirev[✉], Alexander G. Aksenov, Nikolay V. Sazonov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Existing machines for sorting potatoes damage marketable products as a result of the interaction of potato tubers with each other, with working organs and soil clods. The greatest percentage of damage to potato tubers occurs as a result of their interaction with the working bodies of the machines for sorting. In order to determine the place of the greatest force impact of the working bodies of the sorting machines on the potato tuber and to carry out subsequent measures to eliminate negative effects in the design of these machines, laboratory studies were carried out using the "The TuberLog Electronic Potato" software tool. The article provides the results of comparative studies of the force impact of the sorting surface on the electronic potato tuber at various values of the forward speed of movement and interaction time of the working surface of roller-type machine for sorting potato tubers. Analysis of graphical dependencies showed that the greatest force impact (up to 22 N) on a potato tuber falls on the time interval of values from 8.5 to 9.5 s, while the standard deviation and coefficient of variation are $\sigma = 5.7$ and $v = 24.8$ %, respectively. The analysis of the experimental data showed that the most "gentle" force impact of the working bodies of the sorting machine at the forward speed of the roller belt of 1.4 m / s throughout the entire technological

process of sorting is the minimum force impact on the sorted products in the range from 3 to 6.5 N, which is 28-31% of the maximum force impact of working bodies at speeds of 1.8 and 2.2 m/s.

Keywords: harvesting, force impact, potato, working bodies, sorting machine

Acknowledgments: the work was carried out under the state support of young Russian scientists (scholarship of the President of the Russian Federation SP-1004.2021.1).

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

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

For citation: Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Sazonov N. V. Laboratory studies of the impact of a roller sorting machine on potato tubers. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22 (1):119-127. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.119-127>

Received: 17.10.2020

Accepted for publication: 15.01.2021

Published online: 22.02.2021

Повреждение клубней картофеля при механизированной уборке зависит от многих факторов, главными из которых являются конструкция машин для уборки и послеуборочной обработки, материал, из которого изготовлены рабочие органы машин и режимы работы [1, 2, 3]. Не последнюю роль играют физико-механические свойства клубней [4, 5, 6], зависящие в свою очередь от сорта, агротехники возделывания, структуры почвы и климатических условий.

Установлено, что около 70 % травмируемости клубней отдельных групп приходится на внутренние повреждения (потемнение мякоти), возникающие при ударных нагрузках на сепарирующих и сортирующих поверхностях и перепадах между ними. Для определения места и уровня повреждения клубней картофеля при послеуборочной обработке необходимо проведение исследований, которые позволят внести корректировки в конструктивное исполнение сортирующих поверхностей, обеспечивающих исключение или максимальное снижение травмируемости товарной продукции.

Цель исследований – определение силового воздействия роликовой сортирующей поверхности на клубень картофеля.

Научная новизна. Определены эмпирические зависимости силового воздействия на клубень картофеля технологических параметров сортирующей поверхности.

Материал и методы. С целью определения места и регистрации величины наибольшего силового воздействия рабочих органов сортировальных машин на клубни картофеля с последующими рекомендациями об изменениях конструктивно-технологических параметров машин для сортирования картофеля были проведены экспериментальные лабораторные исследования с использованием программного инструмента «Электронный картофель Tuber Log» в условиях ФНАЦ ВИМ [7, 8, 9].

Программный инструмент «Электронный картофель Tuber Log» (рис. 1) включает в себя: регистратор данных 1, выполненный по форме, размеру и плотности в соответствии со стандартным клубнем картофеля, персональный 2 или планшетный компьютер 3 с установленным программным обеспечением для обработки зарегистрированных данных повреждений корнеплодов и последующего его анализа, а также вспомогательная аппаратура 4.



Рис. 1. Общий вид программного инструмента «Электронный картофель Tuber Log»: 1 – регистратор данных; 2 – персональный компьютер; 3 – планшетный компьютер; 4 – вспомогательная аппаратура /

Fig. 1. General view of the "The TuberLog Electronic Potato" software tool: 1 – data logger; 2 – personal computer; 3 – tablet computer; 4 – auxiliary equipment

Программный инструмент «Tuber Log» позволяет фиксировать величину приобретенного ускорения, а также импульс ударной силы от его взаимодействия с рабочим органом [10, 11].

Исследования по определению наибольшего силового воздействия на программный инструмент «Tuber Log» на роликовой поверхности сортировальной машины проводили

при различных значениях поступательной V_{EL} скорости движения сортирующего полотна.

Для фиксации места и момента времени повреждений регистратора данных 1, имитирующего клубень картофеля, на сортировальной машине был закреплен видеорегистратор марки «Inspector Tornado» с разрешением экрана 960×240 и углом обзора по диагонали 150°, установленный на лабораторном штативе. Использование видеофиксации перемещения регистратора данных по поверхности роликовой сортировальной машины обусловлено необходимостью сопоставления времен-

ных промежутков, полученных с видеорегистратора, с диаграммами персонального компьютера программного инструмента «Электронный картофель Tuber Log» с последующим их наложением для определения места наибольшего силового воздействия сортирующей поверхности на регистратор данных.

Экспериментальные исследования по оценке силового воздействия рабочих органов на клубни картофеля проводили на машине для сортирования картофеля, конструктивное исполнение и принцип работы которой разработаны в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (рис. 2).

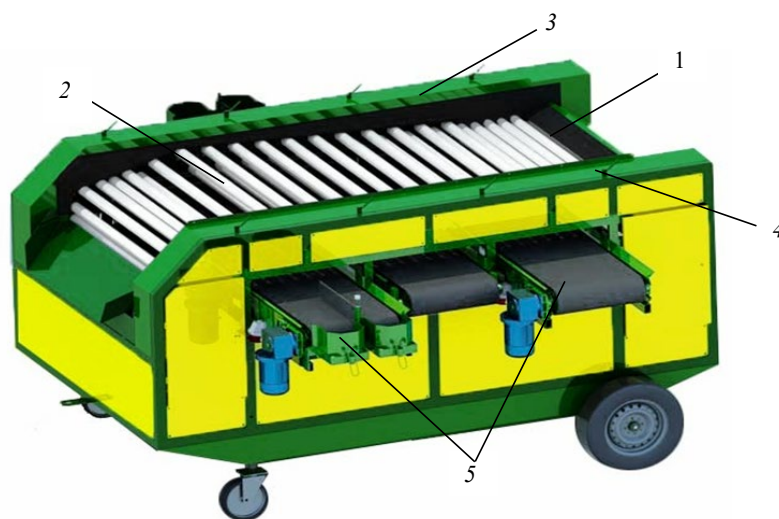


Рис. 2. Трехмерная модель машины для сортирования клубней картофеля: 1 – поверхность сортирующая; 2 – ролики; 3 – направляющие; 4 – винт; 5 – транспортер выгрузной /

Fig. 2. Three-dimensional model of the machine for sorting potato tubers: 1 – sorting surface; 2 – rollers; 3 – guides; 4 – screw; 5 – unloader

Машина для сортирования клубней картофеля роликового типа состоит из: сортирующей поверхности 1 сортировочного устройства и представляет собой бесконечный роликовый транспортер с размещением роликов 2 в шахматном порядке. В процессе работы расстояние между роликами изменяется за счет набегания нижнего ряда роликов на направляющие 3, положение которых регулируется винтом 4.

Разделение по фракциям происходит за счет того, что по мере продвижения роликового транспортера из начала в конец сортировочного устройства расстояние между роликами увеличивается, образуя щели, в которые проходит разделяемый продукт. Разделенный на фракции продукт выгрузными транспортерами 5 отводится от линии и загружается в контейнеры или рабочими в мешки.

Методика проведения экспериментальных исследований заключается в следующем. Устанавливали оптимальные значения посту-

пательной V_{EL} скорости движения сортирующей поверхности, полученные при проведении лабораторных исследований. Далее производили включение привода сортирующей поверхности от шкафа управления 2 (рис. 3).

При установившемся режиме движения рабочей поверхности сортировальной машины 1 включался видеорегистратор, и на сортирующую поверхность подавался регистратор данных, имитирующий клубни картофеля 3. После прохождения электронным картофелем 3 сортирующей поверхности производилось отключение видеорегистратора, шкафа управления 2, изменялись исследуемые факторы, и эксперимент повторялся в соответствии с выбранным планом проведения исследований. Измерение изучаемого параметра – силовое воздействие на клубень картофеля проводили в трехкратной повторности, после чего для оценки вариационного ряда пользовались средними величинами массовых измерений.



Рис. 3. Общий вид лабораторной установки по определению места и уровня повреждений корнеплодов: 1 – сортировальная машина; 2 – шкаф управления; 3 – регистратор данных; 4 – планшетный компьютер /

Fig. 3. General view of the laboratory set up for determining the spot and level of potato tubers damage: 1 – sorting machine; 2 – control cabinet; 3 – data logger; 4 – tablet computer

Повторность проведения опытов при исследовании влияния технологических параметров роликовой сортирующей поверхности на величину силового воздействия сортирующего материала является четырехкратной. При этом использовали общепринятые в вариационной статистике понятия и элементы, характеризующие вариационный ряд: средняя вариационная – $\bar{x}$, среднее квадратическое отклонение – σ , коэффициент вариации – v . Каждый из основных элементов определяли по известным формулам вариационной статистики. Это позволило определить точность экспериментальных данных и установить допустимые пределы, в которых они достаточно надежны. Для определения количества интервалов (K) варьирования значений силового воздействия на клубень картофеля воспользовались эмпирической зависимостью [10, 11, 12]:

$$K = \sqrt{n}, \quad (1)$$

где n – количество исследуемых клубней, шт.

В нашем случае получаем:

$$K = \sqrt{100} = 10.$$

Диапазон размаха выборки:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (2)$$

где $x_{\max}$, $x_{\min}$ – максимальное и минимальное значение исследуемого признака.

Ширина интервала исследуемого признака:

$$D = R/K. \quad (3)$$

Результаты исследований записывали в журнал наблюдений.

Результаты и их обсуждение. Графическое отображение результатов исследований по определению силового воздействия роли-

ковой сортирующей поверхности представлено на рисунке 4.

Используя представленные графические зависимости, можно определить место наибольшего силового воздействия на сортируемую товарную продукцию, с целью корректировки конструктивных параметров роликовой сортирующей поверхности, а также оптимизации режимных и технологических параметров. Для этого, после определения соответствующего участка по длине сортирующей поверхности, необходимо провести параллельно оси ординат прямую до пересечения с графиком.

Анализ графических зависимостей (рис. 4), полученных при проведении экспериментальных исследований на машине для сортирования клубней картофеля с роликовой сортирующей поверхностью, позволяет сделать вывод о том, что наибольшие силовые воздействия ($F = 20,3$ Н) на клубни картофеля происходят при сходе с рабочей поверхности роликового сортирующего полотна во временном интервале 9-11 секунд. Это объясняется тем, что в процессе движения регистратора данных по сортирующей поверхности, вне зависимости от поступательной скорости движения роликового полотна, происходит вертикальный подъем полотна в результате воздействия интенсификатора сортирования, наличие которого в конструкции машины для сортирования обусловлено созданием дополнительного крутящего момента для ориентирования клубня в целевое отверстие, образованное смежными роликами. Все это обуславливает

увеличение вертикальной составляющей силы воздействия интенсификатора сортирования между рабочими элементами сортирующего

полотна и клубнями картофеля, что и приводит к увеличению силового воздействия на клубни и увеличению повреждений.

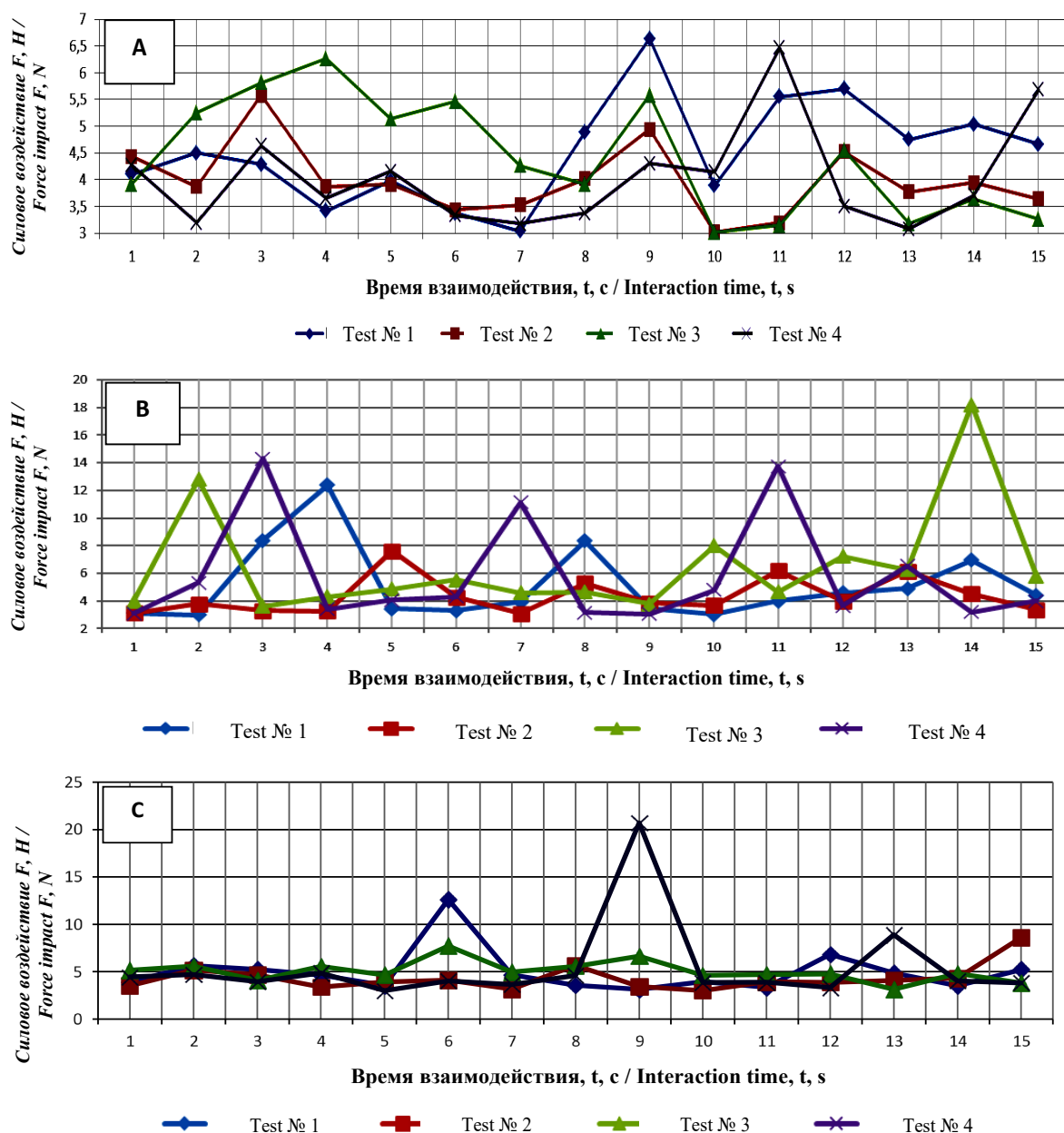


Рис. 4. Силовое воздействие роликовой сортирующей поверхности на клубень картофеля: А – поступательная скорость движения роликовой сортирующей поверхности $V_{EL} = 3,6$ км/ч; В – $V_{EL} = 5,0$ км/ч; С – $V_{EL} = 6,4$ км/ч /

Fig. 4. Force impact of the roller sorting surface on the potato tuber: А – forward speed of the roller sorting surface $V_{EL} = 3.6$ km/h; В – $V_{EL} = 5.0$ km/h; С – $V_{EL} = 6.4$ km/h

Анализируя результаты экспериментальных исследований силового воздействия на клубень картофеля рабочими органами сортировальной машины роликового типа, необходимо отметить, что измеряемая величина колеблется в широких пределах в зависимости от нахождения клубня на

функционирующем элементе (коэффициент вариации $v = 26,9$ %, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 5,52$). Наибольшее силовое воздействие (до 22 Н) на клубень картофеля приходится на временной интервал значений от 8,5 до 9,5 с (рис. 4), при этом среднее квадратическое отклонение и коэффициент

вариации составляют $\sigma = 5,7$ и $v = 24,8$ %, соответственно.

Сравнительный анализ силового воздействия роликовой сортирующей поверхности на

клубни картофеля (рис. 5) позволяет констатировать, что рабочие органы более интенсивно воздействуют на сортируемую продукцию в диапазоне от 8 до 10,8 Н.

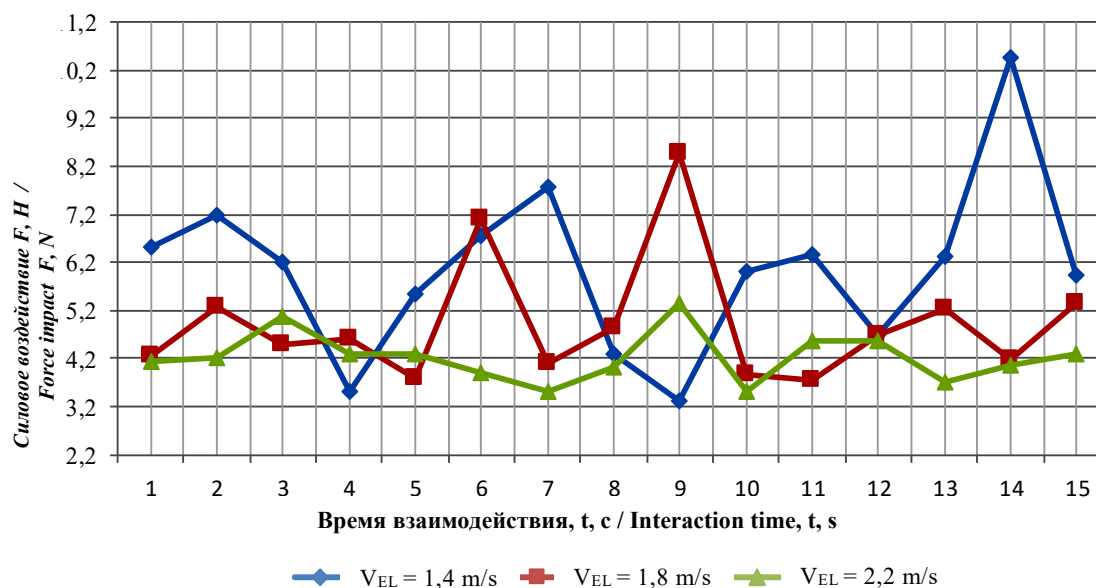


Рис. 5. Сравнительная характеристика силового воздействия сортирующей поверхности на клубень картофеля /

Fig. 5. Comparative characteristics of the force impact of the sorting surface on the potato tuber

Увеличение подачи клубней при выполнении технологического процесса сортирования обусловлено обеспечением возможности повышения производительности послеуборочной обработки в производственных условиях.

При значительном увеличении подачи клубни могут перемещаться по сортирующей поверхности более чем в один слой. При этом многие калибрующие отверстия могут быть перекрыты, и вероятность прохождения через них клубней верхнего слоя снижается [13, 14, 15]. Это сокращает число клубней, контактирующих с калибрующими отверстиями сортирующей поверхности, и, как следствие, снижается точность разделения клубней. Следовательно, для обеспечения равномерного распределения сортируемой товарной продукции при неизменном качестве сортирования клубней вороха необходимо обеспечить увеличение поступательной скорости движения сортирующего полотна и определить значения силового воздействия на исследуемый объект – программный инструмент «Электронный картофель Tuber Log».

Наиболее «щадящее» силовое воздействие рабочих органов машины для сортирования на регистратор данных наблюдается при поступательной скорости движения роликово-

го полотна $V_{EL} = 1,4$ м/с, где на протяжении всего технологического процесса сортирования минимальное силовое воздействие на сортируемую продукцию в диапазоне от 3,0 до 6,5 Н, что составляет 28-31 % от максимального силового воздействия рабочих органов при скоростях движения 1,8 и 2,2 м/с.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рисунке 5, позволяет заключить, что в процессе сортирования клубни взаимодействуют с активными рабочими органами машины. На перепадах с одного ролика на другой клубни падают с высоты не более 0,1 м, что соответствует скорости соударения 1,9 м/с и удовлетворяет допустимой скорости соударения клубней с рабочими органами (2,2 м/с).

Выводы. Таким образом, анализ лабораторных исследований силового воздействия рабочих органов машины для сортирования клубней картофеля при различных скоростях движения рабочего полотна позволяет заключить следующее: наименьшее силовое воздействие на клубень картофеля осуществляется при минимальном значении поступательной скорости движения сортируемого полотна, что обусловлено отсутствием повышенного силового воздействия между рабочей поверхностью функционирующего элемента и клубнем,

имеющего значение от 3,0 до 6,5 Н при суммарной составляющей от максимального силового воздействия в интервале 28-31 % с варьированием поступательной скорости движения 1,8 и 2,2 м/с.

Наибольшее силовое воздействие на клубни картофеля, составляющее значение более 20 Н при временном интервале от 8,5 до 9,5 с, наблюдается на роликовой сортирующей поверхности в результате воздействия интенсификаторов сортирования на регистра-

тор данных, что приводит к ориентированию клубня в соответствующее щелевое отверстие роликового полотна, а также к значительному повреждению клубней картофеля.

Для качественного выполнения технологического процесса сортирования клубней картофеля необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований по совершенствованию конструкции и технологического процесса сортирующих рабочих органов роликового типа машины.

Список литературы

1. Протасов А. А. Функциональный подход к созданию лукоборочной машины. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина». 2011;(2 (47)):37-43. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20231280>
2. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019;58(2):63-75. URL: <http://oaji.net/articles/2019/1672-1567792772.pdf>
3. Сорокин А. А. Теория и расчет картофелеуборочных машин: монография. М.: ВИМ, 2006. 159 с. Режим доступа: <http://vniiesh.ru/results/katalog/2342/16135.html>
4. Костенко М. Ю., Костенко Н. А. Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочной машины. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009;(12):4.
5. Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Дорохов А. С. Уточненный расчет сепарирующей поверхности машины для уборки лука. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(3):28-31. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-28-31>
6. Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А. Обоснование конструктивных и технологических параметров сепарирующего пруткового транспортера с ассиметричным расположением эллиптического встряхивателя и поддерживающего ролика. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018;(4):15–20. DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-15-20>
7. Краснощеков Н. В. Агроинженерная стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2010;(8):5-8.
8. Камалетдинов Р. Р. Объектно-ориентированное имитационное моделирование в среде теории информации (информационное моделирование). Известия Международной академии аграрного образования. 2012;(14-1):186а-194.
9. Рейнгарт Э. С., Сорокин А. А., Пономарев А. Г. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006;(10):3-5. Режим доступа: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
10. Сорокин А. А. Методика расчета параметров колеблющегося лемеха. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2002;(7):25-26.
11. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Synii S. V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. INMATEH-agricultural engineering. 2016;49(2):53-60. URL: https://www.researchgate.net/publication/316672786_Development_of_design_and_investigation_of_operation_processes_of_small-scale_root_crop_and_potato_harvesters
12. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader, Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012;8(2):304-314. URL: https://www.researchgate.net/publication/266550697_Design_and_construction_of_rotary_potato_grader_part_I
13. Natenadze N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel. Scientific technical union of mechanical engineering Bulgarian association of mechanization in agriculture. 2016;62(1):9-11. URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2016/1/9>
14. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2017;10(4):1567-1570. URL: <https://www.irjet.net/archives/V4/i10/IRJET-V4i10288.pdf>
15. Bangar V. T., Jadhav S. R., Patil K. D., Biradar V. U., Ostwal R. S. Design and development of potato harvester. International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education. 2016;2(3):3343-3347 URL: http://www.ijariie.com/AdminUploadPdf/DESIGN_AND_DEVELOPMENT_OF_POTATO_HARVESTER_ijariie_2586.pdf

References

1. Protasov A. A. *Funktsional'noy podkhod k sozdaniyu lukouborochnoy mashiny*. [Functional approach to onion harvester designing]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2011;(2 (47)):37-43. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20231280>
2. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019;58(2):63-75.
URL: <http://oaji.net/articles/2019/1672-1567792772.pdf>
3. Sorokin A. A. *Teoriya i raschet kartofeleuborochnykh mashin: monografiya*. [Theory and calculation of potato harvesting machines: monograph]. Moscow: VIM, 2006. 159 p.
URL: <http://vniiesh.ru/results/katalog/2342/16135.html>
4. Kostenko M. Yu., Kostenko N. A. *Veroyatnostnaya otsenka separiruyushchey sposobnosti elevatora kartofeleuborochnoy mashiny*. [Probabilistic assessment of the separating capacity of the potato harvester elevator]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2009;(12):4. (In Russ.).
5. Sibirev A. V., Aksenov A. G., Dorokhov A. S. *Utochnennyy raschet separiruyushchey poverkhnosti mashiny dlya uborki luka*. [Proximate Design of Onion Harvester Separating Surface]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(3):28-31. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-28-31>
6. Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A. *Obosnovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov separiruyushchego prutkovogo transportera s assimetrichnym raspolozheniem ellipticheskogo vstryakhivatelya i podderzhivayushchego rolika*. [Determining design and technological parameters of the separating rod conveyor with asymmetrical shakers]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2018;(4):15–20. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-15-20>
7. Krasnoshchekov N. V. *Agroinzhenernaya strategiya: ot mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva k ego intelektualizatsii*. [Agroengineering strategy: from mechanization of agriculture to its intellectualization!]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2010;(8):5-8. (In Russ.).
8. Kamaletdinov R. R. *Ob"ektno-orientirovannoe imitatsionnoe modelirovanie v srede teorii informatsii (informatsionnoe modelirovanie)*. [Object-oriented imitating modeling in the environment of the information theory (information modeling)]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* = Izvestia MAAO. 2012;(14-1):186a-194.
9. Reyngart E. S., Sorokin A. A., Ponomarev A. G. *Unifitsirovannyye kartofeleuborochnyye mashiny novogo pokoleniya*. [Unified potato harvesters of the new generation]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2006;(10):3-5. (In Russ.). Режим доступа: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
10. Sorokin A. A. *Metodika rascheta parametrov kolebyushchegosya lemekha*. [Method of calculating the parameters of the oscillating ploughshare]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2002;(7):25-26. (In Russ.).
11. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Synii S. V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. *INMATEH-agricultural engineering*. 2016;49(2):53-60. URL: https://www.researchgate.net/publication/316672786_Development_of_design_and_investigation_of_operation_processes_of_small-scale_root_crop_and_potato_harvesters
12. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012;8(2):304-314.
URL: https://www.researchgate.net/publication/266550697_Design_and_construction_of_rotary_potato_grader_part_I
13. Natenadze N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel. Scientific technical union of mechanical engineering Bulgarian association of mechanization in agriculture. 2016;62(1):9-11.
URL: <https://stumejournals.com/journals/am/2016/1/9>
14. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017;10(4):1567-1570.
URL: <https://www.irjet.net/archives/V4/i10/IRJET-V4I10288.pdf>
15. Bangar V. T., Jadhav S. R., Patil K. D., Biradar V. U., Ostwal R. S. Design and development of potato harvester. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*. 2016;2(3):3343-3347. URL: http://www.ijariie.com/AdminUploadPdf/DESIGN_AND_DEVELOPMENT_OF_POTATO_HARVESTER_ijariie_2586.pdf

Сведения об авторах

Дорохов Алексей Семенович, доктор техн. наук, член-корреспондент РАН, зам. директора по научно-организационной работе, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

✉ **Сибирёв Алексей Викторович**, доктор техн. наук, ст. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аксенов Александр Геннадьевич, кандидат техн. наук, вед. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9546-7695>

Сазонов Николай Викторович, мл. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4899-9197>

Information about the authors

Alexey S. Dorokhov, DSc in Engineering, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for scientific and organizational work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

✉ **Alexey V. Sibirev**, DSc in Engineering, senior researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Alexander G. Aksenov, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9546-7695>

Sazonov Nikolay Viktorovich, junior researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4899-9197>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Концепция, модели и схемы дифференцированного управления в роботизированном манипуляторе доения

© 2021. В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, Д. В. Шилин, С. С. Рузин[✉],
С. С. Юрочка

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

В статье проведен анализ и сравнение циклограмм работы современных доильных роботов компаний Lely, DeLaval и GEA Farm. Разработаны концепции, модели и схемы для дифференцированного управления доильными стаканами для точного соблюдения физиологии доения животных. Разработанные модели позволят сократить задержки между подключением доильных стаканов или избавиться от них вовсе, так как основным недостатком, влияющим на время подключения в существующих доильных роботах, является поочередное подключение доильных стаканов. Использование одной из предложенных схем и моделей, в свою очередь, позволит наиболее полно протестировать рефлекс молокоотдачи и равномерно отдоить все четверти вымени. Были рассмотрены работы отечественных и зарубежных авторов по роботизированному доению и его анализу. В качестве методов анализа были сформулированы циклограммы работ различных роботов. Для предложения концепции разработаны геометрические схемы и модели управления доильными стаканами. Предложены и описаны пять схем дифференцированного управления доильными стаканами и семь моделей управления, две из которых осуществляют попарное подключение, а остальные одновременное. Реализация предложенной концепции, моделей и схем управления доильными стаканами в роботизированном манипуляторе с попарным или одновременным подключением позволит нормализовать продолжительность полных циклов преддоильной обработки и подключения доильных стаканов, приблизив их к физиологически приемлемым величинам (не более 60 секунд).

Ключевые слова: подключение доильных стаканов, циклограммы, автоматизированное доение, управление доильными стаканами

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2021-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю., Шилин Д. В., Рузин С. С., Юрочка С. С. Концепция, модели и схемы дифференцированного управления в роботизированном манипуляторе доения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):128-135. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.128-135>

Поступила: 13.10.2020

Принята к публикации: 27.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Concept, models and schemes of differentiated control in a robotic milking manipulator

© 2021. Vladimir V. Kirsanov, Dmitry Yu. Pavkin, Denis V. Shilin,
Semen S. Ruzin[✉], Sergey S. Yurochka

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article provides the analysis and comparison of operation cyclograms of modern robotic milking systems of Lely, DeLaval and GEA Farm companies. Concepts, models and schemes for differentiated control of teat cups have been developed to ensure accurate compliance with the physiology of milking. The developed models will allow to reduce or avoid the delay between the attachment of teat cups, since the main disadvantage that affects the attachment time in existing automatic milking systems is the sequential attachment of teat cups. Using one of the proposed schemes and models will most fully stimulate the milking reflex and evenly milk all quarters of the udder. The studies of domestic and foreign authors on robotic milking and its analysis have been reviewed. As methods of the analysis, cyclograms of various robotic milking systems have been formulated. For the proposal of the concept geometric diagrams and models of control of the teat cups have been designed. There have been proposed and described five schemes of differentiated control of teat cups and seven control models two of which provide paired attachment and the rest – simultaneous attachment. The implementation of the proposed concept, models and control schemes of teat cups in a robotic manipulator with paired or simultaneous attachment will allow to normalize the duration of full cycles of pre-milking processing and attachment of teat cups, bringing them closer to physiologically acceptable values (not more than 60 seconds).

Keywords: teat cups attachment, cyclograms, automated milking, control of teat cups

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 Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2021-0009).

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: Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu., Shilin D. V., Ruzin S. S., Yurochka S. S. Concept, models and schemes of differentiated control in a robotic milking manipulator. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):128-135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.128-135>

Received: 13.10.2020

Accepted for publication: 27.01.2021

Published online: 22.02.2021

Анализ конструкций существующих доильных роботов показывает, что совокупная продолжительность выполнения операции по обработке сосков и подключения доильных стаканов может составлять от 1,38 до 2,76 минут, при этом сдаивание первых струек молока, очистка сосков вымени варьирует в пределах 0,78...1,20 минут, а надевание доильных стаканов – 0,50...1,56 минут. Меньшие значения принадлежат доильному роботу *Lely*, а большие роботу *DeLaval* [1, 2]. Как видно, разброс достаточно существенный и возникает резонный вопрос, как это соотносится с физиологией лактирующих животных, технологией машинного доения и другими требованиями, сформулированными учёными и конструкторами, занимающимися разработкой доильных аппаратов¹ [3, 4]. В правилах машинного доения строго оговаривается, что продолжительность надевания доильных стаканов не должна превышать 60 секунд после начала санитарной обработки сосков вымени оператором доения. Это связано с наступлением рефлекса молокоотдачи, когда начинает выделяться гормон окситоцин (через 30...60 секунд) после начала обработки (подмывание и массаж) вымени². Считается, что наступает активная фаза рефлекса молокоотдачи и запаздывание с подключением доильных стаканов может повлечь за собой не полное выдаивание вымени коровы, что подтверждается многочисленными исследованиями как российских, так и зарубежных ученых [5, 6, 7, 8]. В этой связи влияние операций по преддоильной подготовке и подключению доильных стаканов на соски животных существенно превышает зоотехнические требования, достигая своего максимума 2,76 минуты в доильном роботе *DeLaval*. Возникает необходимость дополнительного изучения этого вопроса в плане эффективности реализации

рефлекса молокоотдачи в роботах различных конструкций.

Как видно, даже в самых «быстрых» роботах этот показатель составляет 1,38 минуты, что также превышает рекомендованную границу (60 секунд) подключения доильных стаканов ко всем соскам вымени коровы.

Поэтому с целью дальнейшего совершенствования технологии роботизированного доения, разработки более совершенного алгоритма управления и конструкции манипулятора доения необходим детальный анализ циклограммы выполнения отдельных операций по преддоильной подготовке сосков вымени и подключения доильных стаканов.

Цель исследования – проанализировать и сравнить циклограммы работы доильных роботов компаний *Lely*, *DeLaval* и *GEA Farm* на предмет их соответствия нормам физиологии доения по времени подключения доильных стаканов после начала стимуляции. Предложить концепции, модели и схемы дифференцированного управления доильными стаканами.

Материал и методы. В качестве исходного материала для исследований использовали источники, содержащие данные по эксплуатации доильных роботов, а также точно указывающие время, которое необходимо доильным роботам на выполнение операций по преддоильной обработке и подключению доильных стаканов.

Результаты и их обсуждение. Как видно из проведённого анализа, в технологии есть существенные резервы времени. Самое быстрое подключение доильных стаканов, по данным Г. Шлейтцера, производится доильным роботом *Lely* (0,5 минут), самое длительное (1,56 минут) в доильном роботе *DeLaval* [1]. В последнем случае это связано с дополнительными затратами времени по переносу 6-осевым манипулятором каждого доильного стакана к соску вымени из базового положения.

¹Карташов Л. П., Цой Ю. А., Макаровская З. В., Карташова О. Л. Организация, техника и технология машинного доения коров: учеб. пособие. Оренбург: Изд-во центр ОГАУ, 2012. 255 с.

URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006509818>

²Правила машинного доения коров. М.: Агропромиздат, 1989. 39 с.

URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001485276>

Рассмотрим подробнее циклограмму работы доильного робота с одновременным подведением всех 4 доильных стаканов к соскам вымени и поочередным последовательным подключением доильных стаканов (роботы: *Lely*, *GEA Farm*) и индивидуальным подведением и подключением каждого доильного стакана (робот *DeLaval*):

$$\begin{cases} t_{цi}^H = 4t_{цi}^{oc} + 4t_{цiH}^{пс}, \\ t_{цi}^{\Sigma л} = 4t_{цi}^{oc} + 4t_{цiP}^{пс}, \end{cases} \quad (1)$$

где $t_{цi}^H, t_{цi}^{\Sigma л}$ – соответственно суммарная продолжительность циклов обработки сосков и подключения доильных стаканов в схемах с индивидуальным подведением каждого доильного стакана *DeLaval* и с одновременным всех 4 стаканов в *Lely*, с; $t_{цi}^{oc}$ – продолжительность цикла обработки (обмыва) одного соска вымени, с; $t_{цiH}^{пс}$ – продолжительность подключения одного доильного стакана из точки, соответствующей начальному положению доильного стакана, с; $t_{цiP}^{пс}$ – продолжительность подключения одного доильного стакана из рабочей точки (под выменем животного), с.

С небольшим допущением можно принять равным продолжительность циклов обработки сосков индивидуальным доильным стаканом и щетками $t_{цi}^{oc}$. В роботах *Lely* и *DeLaval* суммарная продолжительность цикла обработки сосков будет равна $4t_{цi}^{oc}$.

Аналогичный показатель у робота *GEA Farm* будет равен $t_{цi}^{oc}$, так как там все четыре соска одновременно очищаются в доильных стаканах [9]. То есть для общего цикла будет справедливо выражение:

$$t_{цi}^{\Sigma GEA} = t_{xx}^{PT} + 4t_{цiP}^{пс} + 4t_{цi}^{oc}, \quad (2)$$

где t_{xx}^{PT} – время вывода рабочего органа из начального положения в рабочую точку рядом с выменем, с.

Как видим, в работе робота *GEA Farm* можно ожидать минимальную продолжительность общего цикла обработки сосков и подключения доильных стаканов, причем цикл обработки сосков начинается после цикла индивидуального подключения доильных стаканов из рабочей точки в непосредственной близости от вымени животного. Вместе с тем возникает вопрос о качестве очистки и возможных путях загрязнения молокопроводящих путей доильных стаканов [10, 11, 12].

Рассмотрим по отдельности составляющие в выражениях (1) и (2). Продолжительность цикла обработки (обмыва и сдаивания первых струек) включает поочередную обработку каждого соска отдельным промывочным стаканом *DeLaval* или щетками *Lely*.

$$t_{цi}^{oc} = t_{xx}^{PT} + t_{цi}^{oc'}, \quad (3)$$

где $t_{цi}^{oc'}$ – время надевания доильного стакана из рабочей точки на сосок и его обработки, с.

Продолжительность вывода рабочего органа манипулятора в рабочую точку (t_{xx}^{PT}) с небольшим допущением у всех манипуляторов можно принять одинаковой.

Показатель продолжительности полного цикла обработки соска животного определится из выражения:

$$t_{цi}^{oc'} = t_{PTi}^п + t_{PTi} + t_{oc_i}^{\phi}, \quad (4)$$

где $t_{PTi}^п$ – продолжительность распознавания (позиционирования) i -го соска животного системой машинного зрения, с; t_{PTi} – продолжительность подвода (надевания) рабочего органа на сосок (из рабочей точки), с; $t_{oc_i}^{\phi}$ – фактическая продолжительность обработки одного соска, с.

Выражение (4) будет справедливо для систем с поочередной обработкой сосков вымени рабочим органом (роботы: *Lely*, *DeLaval*). Для робота *GEA Farm* этот показатель будет меньше, так как соски обрабатываются одновременно во всех 4 доильных стаканах и здесь будет справедливо выражение $t_{цi}^{oc} \approx t_{oc_i}^{\phi}$.

Аналогичным образом рассмотрим продолжительность циклов подключения доильных стаканов с руки манипулятора, выведенного предварительно под вымя животного и из начального положения:

$$\begin{cases} t_{цiH}^{пс} = t_{xx}^{PT} + t_{PTi}^п + t_{PTi}, \\ t_{цiP}^{пс} = t_{PTi}^п + t_{PTi}. \end{cases} \quad (5)$$

Как видно из выражения (5), в работе с индивидуальным подключением доильных стаканов из «нулевого» положения всегда присутствует холостой ход руки манипулятора (туда-обратно) при подключении каждого доильного стакана, а при групповом их подведении в рабочую точку только один раз (1), что ускоряет процесс их подключения.

Учитывая, что $t_{цi}^{oc} \approx t_{oc_i}^{\phi}$ и подставляя (3), (4), (5) в (1) и (2), и объединяя последние запишем:

$$\left[t_{ц_i}^и = \left[4(t_{пт_i}^п + t_{пт_i} + t_{ос_i}^ф) + t_{хх}^{пг} \right] + \left[4(t_{хх}^{пг} + t_{пт_i}^п + t_{пт_i}) \right], \right. \quad (6)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma л} = \left[4(t_{пт_i}^п + t_{пт_i} + t_{ос_i}^ф) + t_{хх}^{пг} \right] + \left[4(t_{пт_i}^п + t_{пт_i}) \right], \quad (7)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma GEA} = t_{ос_i}^ф + \left[4(t_{пт_i}^п + t_{пт_i}) + t_{хх}^{пг} \right]. \quad (8)$$

Произведем соответствующие преобразования и упрощения выражений и запишем окончательный вид:

$$\left[t_{ц_i}^и = 8t_{пт_i}^п + 8t_{пт_i} + 5t_{хх}^{пг} + 4t_{ос_i}^ф, \right. \quad (9)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma л} = 8t_{пт_i}^п + 8t_{пт_i} + t_{хх}^{пг} + 4t_{ос_i}^ф, \quad (10)$$

$$t_{ц_i}^{\Sigma GEA} = 4t_{пт_i}^п + 4t_{пт_i} + t_{хх}^{пг} + t_{ос_i}^ф. \quad (11)$$

Анализ выражений (9), (10), (11) показывает суммарный цикл с индивидуальным управлением доильными стаканами из нулевой точки (робот *DeLaval*) отличается от аналогичного показателя (робот *Lely*) с групповым подводом доильных стаканов в рабочую точку на величину $4t_{хх}^{пг}$, соответствующую четырем холостым ходам руки манипулятора из нулевого положения в рабочую точку и обратно. Откуда можно заключить, что предварительное группирование доильных стаканов на руке манипулятора и их одновременный вывод в зону расположения вымени имеет существенное значение, что и подтверждается

экспериментальными данными, приведёнными в начале статьи.

У робота *GEA Farm* имеется также существенная экономия времени на позиционировании и управлении доильными стаканами при подключении и обработке сосков. Разница составляет $4(t_{пт_i}^п + t_{пт_i}) + 3t_{ос_i}^ф$, то есть четыре цикла распознавания и подключения рабочих органов к соскам и три цикла фактической обработки сосков вымени, что также является весьма существенным. Вместе с тем здесь следует оговориться, что доильные стаканы подключаются на неочищенные соски, что может повлечь за собой попадание загрязнений в молокопроводящие пути, даже при тщательной мойке.

Дальнейшей модернизацией существующих конструкций манипуляторов может быть групповое: попарное или даже одновременное подключение доильных стаканов к соскам, с целью сокращения параметра $4(t_{пт_i}^п + t_{пт_i})$, такую цикловую трансформацию можно изобразить схемой, представленной на рисунке 1.

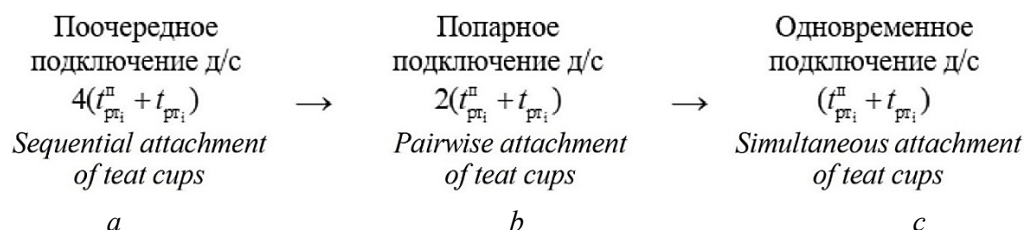


Рис. 1. Схема цикловой трансформации продолжительности подключения и обработки сосков в роботизированном манипуляторе /

Fig. 1. Scheme of cyclic transformation of the duration of attachment and premilking treatment of teats in a robotic manipulator

Очевидно, реализация схем *b* и *c*, представленных на рисунке 1, потребует разработки автономных устройств управления доильными стаканами помимо руки манипулятора. Это усложнит конструкцию, но вместе с тем существенно сократит затраты времени на позиционирование и подключение соответственно в 2 и 4 раза по сравнению с существующими конструкциями, и позволит уложиться в «физиологический допуск» (≤ 60 секунд от начала обработки вымени) на подключение доильных стаканов, что очень важно с технологической и физиологической точек зрения.

Возможные варианты схем дифференцированного управления доильными стакана-

ми могут выглядеть следующим образом (рис. 2). В общем случае держатель со стаканами (на схемах) не показан, рукой манипулятора подводится под вымя (т.0), далее стаканы должны «собраться» по одной из схем в произвольный четырехугольник, соответствующий координатам расположения сосков вымени у коровы и затем подключиться к соскам.

Как известно, произвольный четырехугольник однозначно определяется размерами диагоналей, точкой их пересечения и углом между ними. Исходя из этих соображений, нами рассчитаны основные варианты схем перемещения доильных стаканов, представленных на рисунке 2.

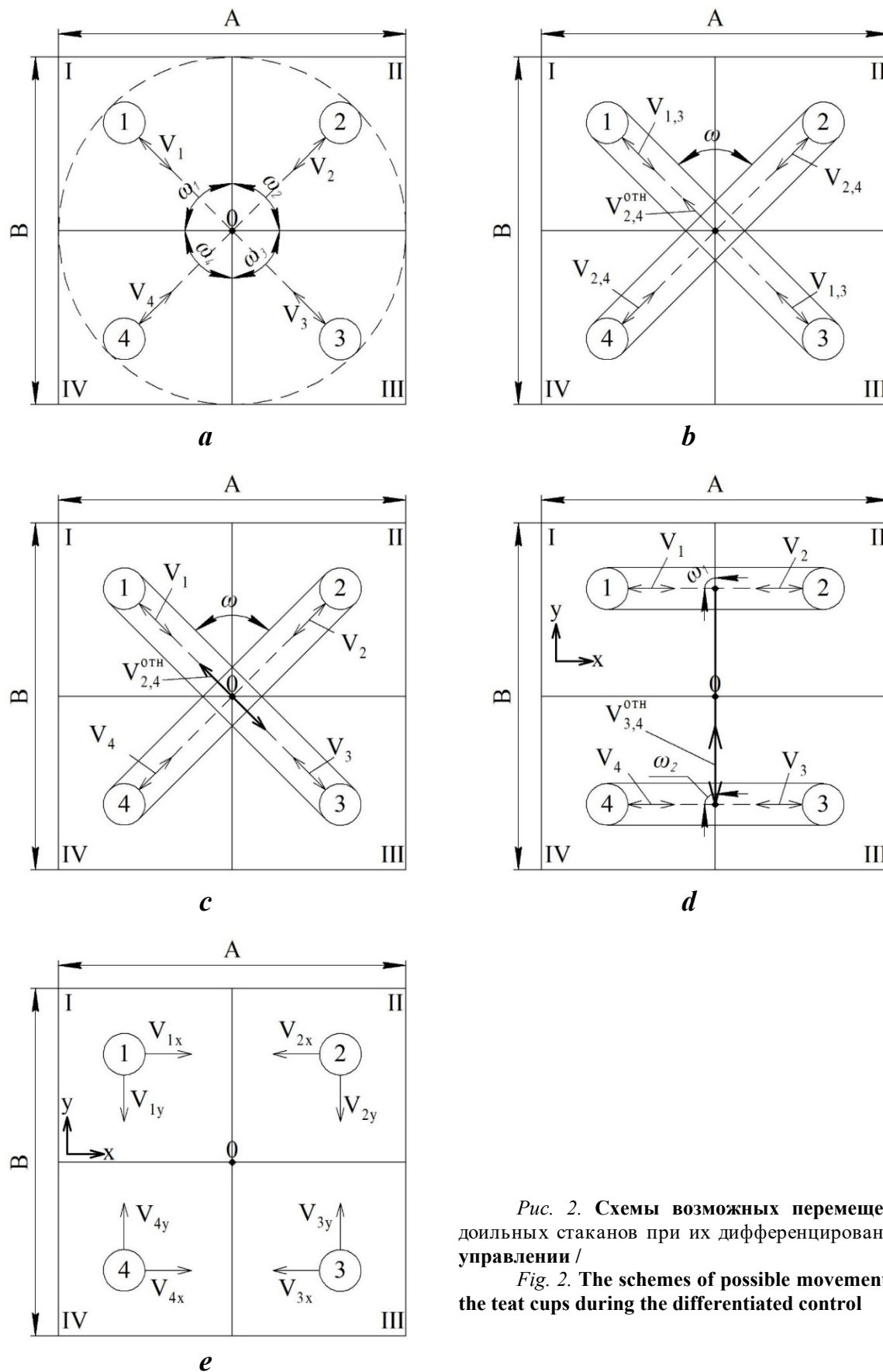


Рис. 2. Схемы возможных перемещений доильных стаканов при их дифференцированном управлении /

Fig. 2. The schemes of possible movements of the teat cups during the differentiated control

Схема (рис. 2а) обеспечивает независимое линейное (радиальное) и угловое перемещение доильных стаканов 1-4 относительно т.О (центр) и предлагает использование четырех независимо работающих цилиндрических мини манипуляторов. Очевидно, что данная система будет иметь 8 степеней свободы в плоскости и для своей реализации потребует 8 приводов, в том числе 4 линейных и 4 поворотных:

$$i_a^4 = [(V_1, \omega_1), (V_2, \omega_2), (V_3, \omega_3), (V_4, \omega_4)]. \quad (12)$$

При этом 8 приводов – это максимальный вариант для этой схемы, когда все 4 стакана будут одновременно управляться и подключаться к соскам вымени. При попарном подключении число приводов можно сократить вдвое, поскольку освободившиеся приводы могут работать на другую пару стаканов после подключения первой:

$$i_a^2 = (V_{1,2}; \omega_{1,2}; V_{3,4}; \omega_{3,4}). \quad (13)$$

Схема (рис. 2б) обеспечивает зависимое линейное и диагональное перемещение ($V_{1,3}; V_{2,4}$) с поворотом одной диагонали (ω) и их относительным перемещением ($V_{2,4}^{отн}$) в направлении другой диагонали (1-3). Подвижность системы будет равна 4:

$$i_b^4 = (V_{1,3}; V_{2,4}; V_{2,4}^{отн}; \omega). \quad (14)$$

Соответственно потребуется 4 привода: 3 линейных и 1 поворотный. Очевидно, что данная схема может работать только при одновременном позиционировании четырех доильных стаканов, поскольку выстраивание диагоналей идет одновременно.

Производной схемы (рис. 2б) может являться схема (рис. 2с), где осуществляется независимое диагональное перемещение доильных стаканов с поворотом диагонали (ω) и относительным перемещением ($V_{2,4}^{отн}$):

$$i_c^4 = (V_1; V_2; V_3; V_4; V_{2,4}^{отн}; \omega). \quad (15)$$

Данная схема имеет 6 степеней свободы в плоскости и столько же приводов ей необходимо для управления доильными стаканами, данная схема более гибка для выстраивания прямоугольника по вершинам сосков.

Схема (рис. 2д) подразумевает независимое линейное перемещение доильных стаканов, с поворотами направляющих (ω_1 и ω_2) относительно оси x и относительным перемещением $V_{3,4}^{отн}$ вдоль оси x . Имеет 7 степеней

свободы и приводов, а также множество геометрических решений:

$$i_d^4 = (V_1; V_2; V_3; V_4; V_{3,4}^{отн}; \omega_1; \omega_2). \quad (16)$$

Последняя представленная схема (рис. 2е) с независимыми перемещениями по плоскости Oxy в каждой четверти доильных стаканов обладает 8 степенями свободы и требует для реализации 8 приводов:

$$i_e^4 = (V_{1x}; V_{1y}; V_{2x}; V_{2y}; V_{3x}; V_{3y}; V_{4x}; V_{4y}). \quad (17)$$

Очевидно, что данная схема может быть трансформирована в схему с попарным перемещением. В случае если каретка с приводами будет перемещаться вдоль оси ординат, при этом число степеней свободы и приводов может быть сокращено до 4:

$$i_e^2 = (V_{3x,4x}; V_{3y,4y}; V_{1x,2x}; V_{1y,2y}). \quad (18)$$

Описанные выше схемы требуют проведения моделирования их кинематики, например, в системе *Matlab Simulink*, с оценкой зоны достижимости и решением прямой и обратной задач кинематики [13, 14]. В настоящее время в лаборатории машинного доения ФНАЦ ВИМ разрабатывается подобная конструкция манипулятора с дифференцированным управлением доильными стаканами для роботизированного доения.

Выводы. Реализация предложенной концепции, моделей и схем управления доильными стаканами в роботизированном манипуляторе с попарным или одновременным подключением позволит нормализовать продолжительность полных циклов передоильной обработки и подключения доильных стаканов, приблизив их к физиологически приемлемым величинам (не более 60 секунд), что позволит избежать нарушений технологии и правил машинного доения и повысить физиологичность доильных роботов, приблизив их к темпу работы оператора-человека, а учитывая качественную обработку сосков, следует еще и ожидать повышение качества молока, снижение заболеваемости маститом и др. Вместе с тем неизбежные конструктивные усложнения не должны отражаться на надежности работы роботизированных манипуляторов, поскольку в этом случае затраты на сервис и устранение аварийных отказов могут нивелировать ожидаемый от их применения эффект. Цена комплекта однокорпусной модели робота также должна быть приемлемой и находится в пределах 4-5 млн рублей.

References

1. Шляйтцер Г. Кому бокс, а кому и карусель? Новое сельское хозяйство. 2011;(6):46-51. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38485888>
Shlyaytser G. *Komu boks, a komu i karusel'?* [To whom is the box, and to whom is the carousel?]. *Novoe sel'skoe khozyaystvo*. 2011;(6):46-51. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38485888>
2. Dzidic A., Weiss D., Bruckmaier R. M. Oxytocin release, milk ejection and milking characteristics in a single stall automatic milking system. *Livestock Production Science*. 2004;86(1-3):61-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00150-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00150-7)
3. Краснов И. Н. Доильные аппараты. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1974. 227 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007417434>
Krasnov I. N. *Doil'nye apparaty*. [Milking machines]. Rostov n/D: *Izd-vo Rost. un-ta*, 1974. 227 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007417434>
4. Никитин Е. А., Кирсанов В. В., Павкин Д. Ю. Обоснование структурно-кинематических схем автоматических манипуляторов для почетвертного доения. Труды ГОСНИТИ. 2017;128:112-117. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29871188>
Nikitin E. A., Kirsanov V. V., Pavkin D. Yu. *Obosnovanie strukturno-kinematicheskikh skhem avtomaticheskikh manipulyatorov dlya pochetvertnogo doeniya*. [To study the structural and kinematic schemes of automatic manipulators for a quarter of the udder milking]. *Trudy GOSNITI*. 2017;128:112-117. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29871188>
5. Bruckmaier R. M., Macuhova J., Meyer H. H. D. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. *Livestock production science*. 2001;72(1-2):169-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00277-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00277-9)
6. Negrao J. A., Marnet P. G. Milk yield, residual milk, oxytocin and cortisol release during machine milking in Gir, Gir x Holstein and Holstein cows. *Reproduction nutrition development*. 2006;46(1):77-85. DOI: <https://doi.org/10.1051/rnd:2005068>
7. Besier J., Schupbach-Regula G., Wellnitz O., Bruckmaier R. M. Technical note: Effects of attachment of hind teats before cleaning and attachment of front teats on milking characteristics in automatic milking systems. *Journal of dairy science*. 2017;100(4):3091-3095. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11712>
8. Wildridge A. M., Thomson P. C., Garcia S. C., Jongman E. C., Kerrisk K. L. Transitioning from conventional to automatic milking: Effects on the human-animal relationship. *Journal of dairy science*. 2020;103(2):1608-1619. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16658>
9. Dzidic A., Macuhova J., Bruckmaier R. M. Effects of cleaning duration and water temperature on oxytocin release and milk removal in an automatic milking system. *Journal of dairy science*. 2004;87(12):4163-4169. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73559-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73559-6)
10. Hogenboom J. A., Pellegrino L., Sandrucci A., Rosi V., D'Incecco P. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of dairy science*. 2019;102(9):7640-7654. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16013>
11. Lassen B. Relationship between farm structure, milking technology and productivity – survey results from European dairy farmers. *Berichte über Landwirtschaft*. 2011;89(3):376-399. URL: https://www.researchgate.net/publication/287093205_Relationsship_between_farm_structure_milking_technology_and_productivity_-_Survey_results_from_European_dairy_farmers
12. Switlyk M., Koloszytz E., Sompolska-Rzechula A. Selected technical and organizational problems in various milk production systems. *Bulgarian journal of agricultural science*. 2019;25(6):1069-1075. URL: <https://agrojournal.org/25/06-02.pdf>
13. Павкин Д. Ю., Кирсанов В. В., Дорохов А. С., Лобачевский Я. П., Рузин С. С., Цой Ю. А., Шилин Д. В., Любимов В. Е., Чирков А. В. Манипулятор доильной установки с управляемым режимом доения по четвертям вымени коровы: пат. № 2715859 (Российская Федерация). № 2019107891: заявл. 19.03.2019; опубл. 03.03.2020. Бюл. № 7. 2 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7652&DocNumber=2715859&TypeFile=html
Pavkin D. Yu., Kirsanov V. V., Dorokhov A. S., Lobachevskiy Ya. P., Ruzin S. S., Tsoy Yu. A., Shilin D. V., Lyubimov V. E., Chirkov A. V. Manipulator of the milking system with a controlled mode of milking on the quarters of the cow's udder: patent Russian Federation no. 2715859. 2020. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=7652&DocNumber=2715859&TypeFile=html
14. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Shilin D., Shestov D., Ruzin S. Calculation of the Manipulator's Kinematic Model and Mounting Points of the Drive Equipment. In Proc. 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization. 2019;1072:339-348. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_34

Сведения об авторах

Кирсанов Владимир Вячеславович, доктор техн. наук, гл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

Павкин Дмитрий Юрьевич, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Шилин Денис Викторович, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5038-7747>

✉ **Рузин Семен Сергеевич**, аспирант, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6870-5486>, e-mail: ruzin.s.s@yandex.ru

Юрочка Сергей Сергеевич, аспирант, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Information about the authors

Vladimir V. Kirsanov, DSc in Engineering, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Dmitriy Yu. Pavkin, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Denis V. Shilin, PhD in Engineering, researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5038-7747>

✉ **Semen S. Ruzin**, postgraduate, junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6870-5486>, e-mail: ruzin.s.s@yandex.ru

Sergey S. Yurochka, postgraduate, junior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ / DISCUSSION PAPERS

РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ, ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ / RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS, GLIMPSE INTO THE FUTURE

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148>

УДК 629.3.014



Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю?

© 2021. В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. Г. Пономарев✉

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

Совершенствование технологий производства сельскохозяйственных культур основано на развитии средств механизации, среди которых тракторная энергетика играет важную роль. В растениеводстве сельскохозяйственные культуры в процессе своей вегетации требуют дифференцированного внимания, а, следовательно, и разных затрат на производство. К наиболее затратным относятся пропашные культуры, которые в процессе развития требуют проведения множества междурядных обработок посадок и посевов. Выполнение таких работ связано с борьбой с сорной растительностью, подкормками растений, проведением операций по химической защите растений от болезней и вредителей. Исходя из этого становится совершенно очевидно, что применяемая на производстве таких культур сельскохозяйственная техника должна быть приспособлена к использованию ее на посадках и посевах культур в разной стадии развития растений. При этом как надземные, так и находящиеся в почве части растения не должны травмироваться и угнетаться рабочими органами сельскохозяйственных машин и движителями энергосредств. Становится очевидным, что в парках тракторов сельскохозяйственных организаций необходимо иметь как мощные тракторы общего назначения, выполняющие в основном вспашку, сплошное дискование и культивацию, посев культур широкозахватными агрегатами, так и универсально-пропашные тракторы, предназначенные для выполнения междурядных обработок. Существуют методики по разработке оптимального парка машин для сельскохозяйственных организаций разных по направленности производства и площадям земельных угодий. С учетом возможности применения современных средств цифровизации и искусственного интеллекта, позволяющих значительно повысить качество выполнения технологических процессов и контролировать их, появляется возможность дальнейшего развития технологий производства пропашных культур. Из приведенных в материале моделей тракторов по своим характеристикам лучшими агротехнологическими качествами, предъявляемыми к универсально-пропашному трактору, обладают модели Fastrac 2170 британской компании JCB и трактор ЛТИ 162.5, производство которого планируется в г. Ижевске (Россия).

Ключевые слова: универсально-пропашной трактор, трактор общего назначения, технологии, комплексы машин, агротехнические требования, пропашные культуры

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зернов В. Н., Петухов С. Н., Пономарев А. Г. Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю? Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):136-148. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148>

Поступила: 18.11.2020

Принята к публикации: 28.01.2021

Опубликована онлайн: 22.02.2021

Who decides what tractors farmers need?

© 2021. Vitaly N. Zernov, Sergey N. Petukhov, Andrey G. Ponomarev✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Improvement of crop production technologies is based on the development of agricultural machinery in which the tractor power plays an important role. In crop production, agricultural crops require variable attention during their growing season and consequently, different production costs. The most expensive are row crops which in the process of development require a lot of inter-row tillage of plantings and sowings. The implementation of such tillage involves the control of weeds, plant fertilization, operations for chemical protection of plants from diseases and pests. Therefore, it becomes evident that the agricultural machinery used in the production of such crops must be adapted to its use in planting and sowing crops at different stages of plant development. Thus, both the aboveground and the parts of the plant located in the soil should not be damaged and oppressed by the working bodies of agricultural machines and the engines of energy facilities. It becomes obvious that tractor fleet of agricultural organizations should have both powerful general-purpose tractors used mainly for plowing, continuous disking, cultivation and sowing using wide coverage units, and row-crop tractors designed for inter-row tillage. There are methods for

developing an optimal fleet of machinery for agricultural organizations which differ in production trends and in size of agriculturally used areas. Taking into account the possibility of using modern means of digitalization and artificial intelligence which can significantly improve the quality of technological processes and control them, it is possible to develop technologies for the production of row crops. Of all tractor models mentioned in the research, the following models have the best agrotechnological characteristics required of the general-purpose row-crop tractors: Fastrac 2170 produced by the British company JCB and LTI 162.5 tractor that is to be produced in Izhevsk, Russia.

Keyword: general purpose row-cropttractor, general-purpose tractor, technologies, machine complexes, agrotechnical requirements, row crops

Acknowledgement: the work was performed 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 that there was no conflict of interest.

For citation: Zernov V. N., Petukhov S. N., Ponomarev A. G. Who decides what tractors farmers need? *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22 (1):136-148. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148>

Received: 18.11.2020

Accepted for publication: 28.01.2021 Published online: 22.02.2021

В утвержденной в 2017 году Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года наилучшим образом сформулирована роль отрасли в экономике Российской Федерации. Согласно этому документу, отечественному комплексу предприятий сельскохозяйственного машиностроения отводится одна из ключевых ролей в достижении показателей Доктрины продовольственной безопасности страны в части снижения зависимости от импорта техники и технологий ее изготовления, а также обеспечения модернизации сельского хозяйства страны для увеличения выпуска базовой сельхозпродукции¹.

В вопросе развития сельскохозяйственного машиностроения первостепенную роль играет производство тракторной энергетики. Связано это с тем, что трактор является образующим звеном в создании любой продукции сельскохозяйственного производства независимо от формы производственных отношений – будь это крупный агрохолдинг, объединяющий несколько коллективных хозяйств, крестьянское (фермерское) хозяйство или индивидуальный предприниматель: весь цикл производства базовой сельскохозяйственной продукции в организации основан на технологиях и комплексах машин, построенных на применяемой тракторной энергетике.

21 января 2020 года Комитет по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Совета Федерации провел совещание на тему «Актуальные вопросы развития отечественного тракторостроения».

Первый заместитель председателя комитета С. Г. Митин отметил, что, несмотря на предпринимаемые Правительством и профильными министерствами меры по технической модернизации аграрного сектора экономики, парк сельскохозяйственной техники страны характеризуется критической недооснащенностью и высокой степенью морального износа. Так, парк тракторов и самоходных уборочных машин с начала 90-х годов сократился в 6 раз, тракторы с вышедшими сроками амортизации и эксплуатации (10 лет и старше) составляют более 70 % всего парка тракторов².

Как положительную тенденцию в развитии отечественного тракторостроения можно рассматривать то, что с 2013 по 2019 год выпуск тракторов в Российской Федерации увеличился в 6 раз и составил 3 355 ед. В то же время при обозначенных в Стратегии развития задачах, согласно которым «агросектор должен не только обеспечивать продовольственную безопасность страны, но и приносить прибыль от поставок на экспорт», такие масштабы производства тракторов явно недостаточны³ [1].

Наш аграрный сектор катастрофически отстает по обеспеченности тракторами на единицу площади. На рисунке 1 приводятся данные по количеству тракторов, приходящихся на 1000 га пашни в различных странах с развитым аграрным сектором⁴. Однако представленная здесь информация не в полной мере отражает картину обеспеченности сельскохозяйственного производителя тракторной энергетикой.

¹Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07 июля 2017 № 1455-р. URL: <http://government.ru/docs/all/112319/>

²Материалы совещания в Совете Федерации «Актуальные вопросы развития отечественного тракторостроения». Москва, 24.01.2020. URL: <http://council.gov.ru/events/news/112544>

³Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности: методические указания. Под ред. А. Ю. Измайлова. М.: Росинформагротех, 2009. 56 с.

⁴Лачуга Ю. Ф. Материалы совещания в Совете Федерации «Обеспечение обновления машинно-тракторного парка АПК». Москва. 30.10.2020. URL: <http://vim.ru/center/newsmedia/news/954>

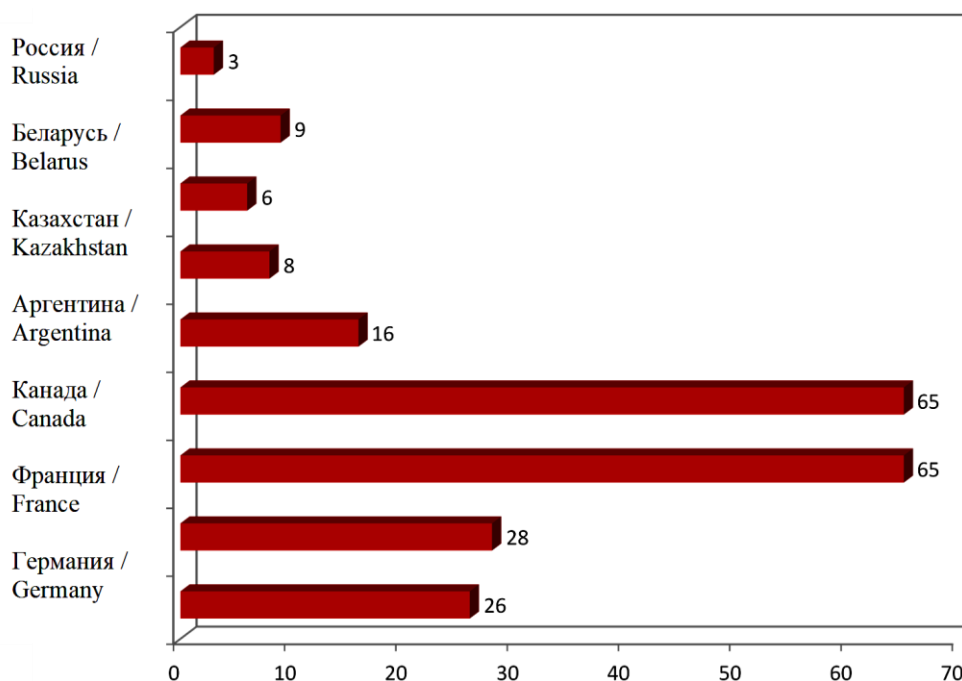


Рис. 1. Количество тракторов, приходящихся на 1000 га пашни /
Fig. 1. Number of tractors per 1000 ha of arable land

Конструкция трактора тесно переплетается с его технологическим совершенством, его потребительскими качествами.

Формирование парка тракторов и его перспективное развитие осуществляются на основе реализации и совершенствования научно обоснованного типажа, построенного по тяговому классификационному признаку [2, 3]. Указанный типаж соответствует требованиям сельскохозяйственного производства, но лишь при обязательном выполнении двух основных условий. Первое заключается в полном обеспечении потребности в различных типоразмерах тракторов применительно к условиям соответствующих зон России. Второе требование касается постоянного воспроизводства и развития тракторного парка как по количеству работоспособной техники, так и по его структуре. Однако ни то, ни другое требование в настоящее время в Российской Федерации не выполняются [4].

На парламентских слушаниях по теме «Обеспечение обновления машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса» президент Ассоциации «Росспецмаш» К. Бабкин заявил, что производство тракторов для сельского хозяйства в России в 2020 году

составит 4200 штук, что в 13 раз больше, чем в 2013 году. Экспорт по прогнозу составит 480 единиц тракторной техники, превысив в 20 раз показатель 2013 года. При этом возрастает роль современной российской мощной энергонасыщенной техники. В общем количестве тракторов, произведенных за 2020 год, доля отечественных марок составила 46 %, иномарок российской сборки – 54 %, из них 30,7 % собрано из тракторкомплектов МТЗ, 1,8 % – из комплектов ХТЗ, 21,5 % – из комплектов иностранных марок («Versatile», «New-Holland», «Agrotron», «Axion», «John Deere», «Xerion»)⁵.

Посмотрим на приведенные статистические данные с позиции аграриев. Чтобы лучше понимать ситуацию о положении дел в отечественном тракторостроении, приведем данные по тракторной энергетике, выпускаемой на отечественных предприятиях для отечественного АПК и поставляемой на Российский рынок зарубежными тракторостроительными фирмами (табл.).

В таблице приведены данные по выпуску (производство или сборка) тракторов на отечественных предприятиях⁶.

⁵Бабкин К. Материалы совещания в Совете Федерации «Обеспечение обновления машинно-тракторного парка АПК». Москва. 30.10.2020. URL: <http://vim.ru/center/newsmedia/news/954>

⁶Проспект фирмы JohnDeere [Электронный ресурс] URL: <https://www.deere.ru/>; Проспект фирмы Ростсельмаш [Электронный ресурс] URL: <https://rostselmash.com/>; Проспект фирмы Петербургский тракторный завод [Электронный ресурс] URL: <https://kirovets-ptz.com/>; Проспект фирмы Минский тракторный завод [Электронный ресурс] URL: <https://beltrakt.ru/tractory/>; Проспект фирмы Deutz-Fahr [Электронный ресурс] URL: <https://www.deutz-fahr.com/ru-ru/>; Проспект фирмы JCB [Электронный ресурс] URL: <https://www.jcb.com/ru-ru> (дата обращения 20.10.2020).

Таблица – Модели колесных тракторов, выпускаемых в Российской Федерации /
Table – Models of wheeled tractors produced in the Russian Federation

Показатель / Indicator	Jonh Deere 6195M / Jonh Deere 6195M	БТЗ-246К / BTZ-246 K	Axion 820 / Axion 820	Axion 900 / Axion 900	XERION 4000 / XERION 4000	Versatile 320 / Versatile 320	Versatile 2000	Deutz-Fahr Agrolux 4.80	Deutz-Fahr Agrotron 1130
	Производитель / Manufacturer								
Класс / Class	возможно будет производство в РФ / perhaps there will be production in Russia	Брянский тракторный завод / Bryansk tractor plant	3	5	8	5	8	1,4	3,0
Компоновочная схема / Layout diagram	Классика / Classic	Сочлененные полурамы / Articulated half- frames	Классика / Classic	Классика / Classic	Рамная конструкция / Frame construction	Классика / Classic	Сочлененные полурамы / articulated half-frames	Классика / Classic	
Номинальная мощность, кВт (л.с.) / Rated power, kW (HP)	143 (195)	132,2 (180)	139 (189)	235 (320)	295 (401)	235 (320)	279 (380)	59,8 (81)	99 (135)
Масса, кг / Weight, kg	7500	8980	6300	12840	17230	10861	17900	3300	6525
Агротехнический просвет, мм / Agricultural clearance, mm	545	400	560	647	375	-	-	400	570
Механизм поворота / Slewing gear	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Управляемые обе оси / Controlled both axes	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	
Шины передних колес / Tires of the front wheels	600/65R28	21,3R24	420/85R28	620/75R30	900/60R42	420/90R30	520/85R42	12,4R20	16,9R28
ширина профиля, мм / width of profile, mm	600	541	420	620	900	420	520	315	430
Шины задних колес / Rear wheel tires	710/70R38	21,3R24	520/85R38	710/85R38	900/60R42	480/80R46	520/85R42	16,9R30	20,8R38
ширина профиля, мм / width of profile, mm	710	541	520	710	900	480	520	430	528
Стоимость, руб. / Cost, RUB.	21 812 160	4 636 000	14 126 668	-	-	-	-	3 829 856	-

Продолжение табл.

Показатель / Indicator	Кировец К-424 / Kirovets K-424	ANT 4135F	ХТЗ-17221 / HTZ-17221	УЛТЗ-150К-03 / ULTZ-150K-03	Terrion ATM 3180M / Terrion ATM 3180M	tertion атм 4200 / tertion атм 4200	МТЗ 1221 В 2-51.55 / MTZ 1221 У. 2-51.55	JCB Fastrac 3230 Xtra	ЛТИ-162.5 / LTI-162.5
	Производитель / Manufacturer								
	ПТЗ, г. Санкт-Петербург / PTZ, St. Petersburg	АО «Ковровский ЭМЗ» / JSC "Kovrov EMZ"	ООО ПО ХТЗ Белгород / LLC PO KhTZ Belgorod	ООО УЛМЗ, г. Усть-Лаби́нск / ULMZ LLC, Ust-Labinsk	ЗАО «Агротехмаш» г. Тамбов / CJSC "Agrotech-mash" Tambov	ОАО МТЗ Беларусь / MTZ OJSC Belarus	ООО «УралИжТрак» г. Ижевск / OOO "Uraltrak" Izhevsk		
Класс / Class	4	2	3	3	3	4	2-3	3	2-3
Компоновочная схема / Layout diagram	Сочлененные полурамы / Articulated Half-Frames	Классика / Classic	Сочлененные полурамы / Articulated half-frames		Классика / Classic			Интеграл / Integrated	
Номинальная мощность, кВт (л.с.) / Rated power, kW (HP)	176,5 (240)	100,2 (136)	128,7 (175)	128,7 (175)	136 (182)	147 (197)	96 (136)	142 (190)	142 (190)
Масса, кг / Weight, kg	9300	4500	8900	-	-	-	5080	7990	5200
Агротехнический просвет, мм / Agricultural clearance, mm	500	508	450	450	500	500	620	410	480
Механизм поворота / Slewing gear	Ломающаяся рама / Breaking frame	Передние управляемые колеса / Front steerable wheels	Ломающаяся рама / Breaking frame		Передние управляемые колеса / Front steerable wheels			4 управляемых колеса / 4 steerable wheels	
Шины передних колес / Tires of the front wheels	23,1R26	420/70R24	21,3R26	21,3R26	420/85R30	420/85R34	14,9R24	540/65R30	16,9R30
ширина профиля, мм / width of profile, mm	586	420	586	586	420	420	378	540	430
Шины задних колес / Rear wheel tires	23,1R26	520/70R38	21,3R26	21,3R26	520/85R38	520/85R42	18,4R38	540/65R30	16,9R30
ширина профиля, мм / width of profile, mm	586	520	586	586	520	520	467	540	430
Стоимость, руб. / Cost, RUB.	5 795 400	4 160 000	4 568 964	3 213 559	7 653 355	8 827 322	2 620 677	15 819 064	2 980 100

Последнее время насыщение парка тракторов отечественного АПК происходит в основном моделями, относящимися к тракторам общего назначения, которые по разным причинам не могут быть использованы для выполнения работ по уходу за пропашными культурами.

Новейшие тенденции мировых тракторостроительных фирм показывают, что в конструкции тракторов в ближайшее время производители пойдут по пути создания тракторов с ДВС, имеющих мощность, превышающую не менее чем в 2 раза требуемую для тяговых задач в базовой комплектации. Тракторы будут с бесступенчатой трансмиссией, позволяющей оптимизировать режим работы трактора и двигателя. Эти задачи уже сейчас решаются электронной системой управления, которая согласована с рабочим орудием и с навигационным оборудованием, способна использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

В таблице представлены только те характеристики и параметры, которые можно считать главными отличительными особенностями универсально-пропашных тракторов. Помимо приведенных данных, такие тракторы имеют возможность регулирования колеи как по передним, так и задним колесам, а также использовать различные модели шин, позволяющих работать в междурядьях. Обычно такие тракторы имеют до 6 пар гидравлических выводов и до 3 валов отбора мощности для привода сельскохозяйственных машин.

Востребованными останутся как тракторы с колесным, так и гусеничным двигателем. Изменение гусеничного двигателя для сельскохозяйственных тракторов пойдет в направлении создания резиноармированной гусеницы или ее аналога с целью снижения стоимости и повышения ресурса.

По мере развития разветвленной сети электростанций из возобновляемых энергоресурсов (солнечные, ветряные, гидравлические, тепловые и т. п.) станут востребованы электрические тракторы. На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с гибридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, способностью обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для их рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода для создания тягового усилия [5].

В последние годы за рубежом наблюдается тенденция широкого внедрения прогрессивных промышленных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с применением комбинированных широкозахватных агрегатов, выполняющих за один проход несколько технологических операций, например, подготовку почвы под посев, посев зерновых культур с внесением удобрений, гербицидов и одновременной их заделкой в почву. Внедрение таких агрегатов позволяет за счет увеличения ширины захвата и совмещения операций существенно повысить производительность, снизить затраты труда, энергии и средств на единицу получаемой продукции.

Однако такие агрегаты наиболее эффективны при возделывании пропашных культур, в процессе вегетации которых требуются междурядные обработки агрегатами при условии, что движители энергетического средства при прохождении по междурядью не должны оказывать механического воздействия на растения.

Для работ на посевах и посадках пропашных культур требуется энергетика достаточной мощности и, в то же время обладающая возможностью проезда в различных по величине междурядьях. Последнее определяется такими показателями, как колея энергосредства, клиренс и параметры движителей. Это, собственно, и является первоочередными требованиями к универсально-пропашному трактору. Анализ с этой позиции представленных в таблице тракторов показывает, что основная масса моделей не может использоваться для работ в междурядьях пропашных культур.

Важное значение для универсально-пропашного трактора имеет и компоновочная схема. Универсально-пропашной трактор не может быть выполнен по схеме с ломающейся рамой (сочлененные полурамы). Применение такой схемы исключено по причине кинематики агрегата при управлении им во время движения в междурядьях растений.

Таким образом, из приведенных в таблице тракторов возможно использовать на междурядных обработках модели Deutz-Fahr Agrolux 4.80, Deutz-Fahr Agrotion 1130, Terrion ATM 3180M, Terrion ATM 4200, МТЗ 1221. В таблице приведены данные по трактору ЛТИ-162.5, серийное производство которого готовится на предприятии в г. Ижевске (Удмуртская Республика).

Проведенный анализ ситуации в области отечественного тракторостроения позволяет сделать вывод, что в Российской Федерации в настоящее время полностью отсутствует

производство универсально-пропашных тракторов. Главными причинами такого положения является отсутствие государственного заказчика на данную продукцию. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации в настоящее время не выполняет функцию заказчика. Нет механизма, по которому Минсельхоз мог бы требовать от Минпромторга производить ту продукцию, которая необходима аграрному сектору. С другой стороны, для Минпромторга Российской Федерации не имеет значения, кто будет покупать продукцию тракторных заводов – отечественный сельхозпроизводитель или зарубежный.

Сейчас сложилась такая ситуация, что при том диспаритете цен на продукцию машиностроения, энергоносители и продукцию сельского хозяйства основная масса работающих в аграрном секторе организаций не способна покупать сельхозтехнику (в том числе и тракторы) в достаточном объеме для расширения производства и, соответственно, продукция отечественного сельхозмашиностроения, при условии хорошего качества исполнения, будет ориентирована на внешний рынок.

Ограниченные с точки зрения дальнейшего развития отрасли возможности внутреннего рынка заставляют как регулятора, так и самих производителей сельхозтехники уделять повышенное внимание вопросу расширения экспортного канала сбыта. В 2017 году Правительством Российской Федерации была принята Стратегия развития экспорта в отрасли сельскохозяйственного машиностроения на период до 2025 года, которая предполагает, что поставки на внешние рынки станут основным драйвером развития российской отрасли сельхозмашиностроения в целом. В соответствии с целевыми индикаторами реализации Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года соотношение экспорта и отгрузок продукции сельскохозяйственного машиностроения на внутренний рынок должно к 2025 году составить 1:1.

Пятьдесят лет назад, в процессе разработки конструкции трактора, конструкторские бюро любого завода, в первую очередь, взаимодействовали с технологическими институтами сельского хозяйства для понимания того, что требуется заказчику в лице сельскохозяйственных предприятий Минсельхоза. Только потом,

на уровне промышленных предприятий решались инженерные задачи с целью удовлетворения требований заказчика. Сейчас никого не интересуют требования заказчика (его на государственном уровне нет), сейчас главное – продать как можно выгоднее (Минпромторг), а кому – вопрос не главный.

Вот наша беда. Мы в науке уже начинаем думать о применении искусственного интеллекта для повышения эффективности в аграрном секторе, а решение о том, что продавать аграрному сектору, принимает другой интеллект.

В свое время наша страна была лидером по тем техническим решениям, которые отечественные конструкторы заложили в схему универсально-пропашного трактора класса тяги 2 [6]. Это было время начала 70-х годов прошлого века. И вот сейчас, глядя на те модели тракторов, которые представлены в таблице, видишь, как эти решения воплощены в жизнь конструкторами других фирм и стран⁷.

Зададим все же вопрос, какой должен быть универсально-пропашной трактор с позиций разработчиков технологий производства различных сельскохозяйственных культур?

Универсально-пропашные тракторы, выполненные по «классической» схеме, получили широкое распространение во всем мире и широко используются в настоящее время. Однако у такой схемы трактора есть и серьезные недостатки, приведем некоторые из них:

- недостаточная продольная устойчивость трактора традиционной схемы при агрегатировании его с навесной сельскохозяйственной машиной, когда на развороте необходимо ее поднять в транспортное положение. Без балластирования переднего моста, при определенных условиях, трактор не может работать из-за потери управляемости (рис. 2, 3);

- отсутствие на тракторе свободного пространства для монтажа технологических емкостей большого объема. Установка таких емкостей слева и справа от двигателя на специальных кронштейнах трактора классической схемы приводит к значительному ухудшению обзорности, дополнительной нагрузке на управляемые колеса, возможной перегрузке передних шин, затруднению технического обслуживания агрегатов двигателя, нарушению техники безопасности и повышенной трудоемкости монтажа и демонтажа емкостей [7, 8, 9,];

⁷Пономарев А. Г., Аксенов А. Г. Концепция создания семейства многоцелевых агрегатов к перспективным энерго-средствам для зерновых, пропашных и кормовых культур. Отчет НИР ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. М., 2017. 177 с.

- теоретически возможно, а практически недопустимо агрегатирование на передней навесной системе трактора «классической» схемы сельскохозяйственных машин, в т. ч. и

с приводом от ВОМ, так как это значительно перегружает передние колеса, ведет к образованию глубокой колеи, затрат на перекапывание, уплотнению почвы по колес [10, 11, 12, 13].



Рис. 2. Потеря продольной устойчивости и управляемости трактора «классической» компоновочной схемы MTZ-80 при агрегатировании с навесной зерновой сеялкой фирмы Kverneland Accord /

Fig. 2. Loss of longitudinal stability and controllability of the tractor of «classic» layout scheme MTZ-80 when aggregating with the Kverneland Accord mounted grain seeder



Рис. 3. Балластный груз массой 600 кг на тракторе MTZ-142 /

Fig. 3. 600 kg ballast load on MTZ-142 tractor

В настоящее время некоторыми тракторостроительными фирмами ведутся работы по созданию моделей тракторов новой компоновочной схемы – с колесами одинакового размера, с измененной развесовкой и смещением кабины в середину колесной базы энергосредства.

Особенно это просматривается в конструкциях универсально-пропашных тракторов мощностью свыше 100 л. с. и заключается в следующем:

- увеличиваются размеры передних колес;
- увеличивается доля массы трактора, приходящейся на передний мост с целью улучшения

продольной устойчивости и повышения степени участия переднего ведущего моста в создании касательной силы тяги трактора;

- смещается кабина вперед как с целью изменения развесовки, так и с целью освобождения пространства над задней осью для размещения технологических емкостей;

- в дополнительные опции включаются переднее навесное устройство и передний ВОМ.

Однако большинство универсально-пропашных тракторов продолжает выпускаться по схеме с передними колесами меньшего размера, что обусловлено налаженным производством, запатентованными техническими решениями и существующим спросом на продукцию. В то же время многие тракторостроительные фирмы идут по пути увеличения передних колес тракторов в сравнении с предшествующими моделями, приближаясь по размеру к задним колесам, имея одинаковую с ними ширину. На ряде моделей тракторов с распределением массы по мостам 50 % на передний и 50 % на задний кабина устанавливается по центру.

В настоящее время основным производителем колесных универсально-пропашных тракторов «интегральной» схемы на мировом рынке является британская компания JCB, которая в своем модельном ряду имеет ряд тракторов Fastrac, выполненных по «интегральной» схеме, с мощностью двигателя от 119 до 165 кВт (рис. 4).



Рис. 4. Трактор JCB Fastrac 2170 (127 кВт) /
Fig. 4. JCB Fastrac 2170 tractor (127 kW)

Что понимается под определением универсально-пропашной трактор «интегральной» схемы? Сумма принципиально новых отличительных качеств (принципов), расширяющих технологические возможности его применения в различных сферах деятельности [14]:

- развесовка трактора в статике распределяется в пропорции: 60 % на передний и 40 % – на задний мост энергосредства;
- трактор оборудован передней и задней гидравлическими навесными системами;
- колеса трактора имеют одинаковый размер;
- валы отбора мощности для привода различного технологического оборудования располагаются спереди, сзади и сбоку;
- кабина трактора располагается по центру, между мостами, и обеспечивает возможность быстрого перевода энергосредства на реверс;
- за кабиной располагается технологическая площадка для монтажа различного оборудования, в т. ч. гидроманипуляторов, седельного транспортного устройства, емкостей для сельхозматериалов и жидкостей;
- трактор имеет достаточное количество гидровыводов для обеспечения приводов агрегируемого с ним оборудования;
- для рациональной, экономически выгодной эксплуатации трактора должен быть предусмотрен большой диапазон скоростей, в том числе «ползучих» через ходоуменьшитель; необходимость в таких скоростях требуется в овощеводстве;
- переключение передач должно осуществляться без разрыва потока мощности при движении трактора под нагрузкой;

- энергосредство должно иметь минимальную эксплуатационную массу с целью обеспечения удельного давления на почву в пределах $0,8 \dots 1,1 \text{ кг/см}^2$, не более.

Кроме того, должны быть предусмотрены возможности:

- сдвигания передних и задних колес, в т. ч. с пропуском рядка культурных растений между узкими колесами каждого борта с целью обеспечения требуемого удельного давления на почву;
- конструкции ходовой системы должны иметь различные схемы поворота (управление только передними колесами, передними и задними в разные стороны, передними и задними в одну сторону «краб»), что обеспечивало бы движение колес «след в след» на поворотах и в четыре следа при прямолинейном движении;
- агрегатирования сельскохозяйственных машин из шлейфов тракторов класса 1,4 и 3;
- передачи через ВОМ трактора до 90 % мощности двигателя;
- создания различных модификаций (высококлиренсной, лесной, промышленной), в том числе и на гусеничном ходу.

Совершенно очевиден большой потенциал, появляющийся при разработках новых технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, связанный с применением нового трактора. Агрегатирование сельскохозяйственных машин на передней навесной системе при выполнении междурядных обработок существенно снижает величину защитных зон культурных растений, что уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения применения гербицидов. Совмещение операций в одном проходе агрегата позволяет заменить при посеве сплошное внесение химических препаратов на полосное (рис. 5).

На междурядных обработках пропашных культур для снижения удельного давления на почву со стороны движителей и для уменьшения их воздействия на культурные растения трактор оборудуется сдвоенными колесами с возможностью пропуска рядка между ними (рис. 6).

При разработке конструкций уборочных машин возможен вариант их агрегатирования на задней навесной системе трактора при его переводе на полный реверс (рис. 7). Много интересных предложений может быть и по оборудованию, монтируемому на технологической площадке трактора (рис. 8).



Рис. 5. Комбинированный 18-рядный агрегат на предпосевной обработке почвы, полосном внесении гербицида и посеве сахарной свеклы на базе трактора «интегральной схемы» /

Fig. 5. Combined 18-row unit for pre-sowing tillage, strip application of herbicide and sugar beet sowing based on the «integrated circuit» tractor



Междурядная обработка посадок картофеля (междурядья 75 см) / Inter-row tillage of potato plantings (row spacing 75 cm)



Междурядная обработка посевов сахарной свеклы (междурядья 45 см) / Inter-row tillage of sugar beet sowings (row spacing 45 cm)

*Рис. 6. Сдвигание колес трактора на проведении междурядных обработок /
Fig. 6. Doubling the wheels of the tractor during inter-row tillage*



Рис. 7. Варианты кормоуборочных комбайнов на базе трактора «интегральной схемы» (трактор на реверсе) /

Fig. 7. Variants of forage harvesters based on the «integrated circuit» tractor (reverse tractor)



Погрузчик на базе трактора
«интегральной схемы» /
Loader based on the «integrated circuit» tractor



Установка емкостей подкормщика-опрыскивателя
на технологическую площадку трактора
«интегральной схемы» / Installation of feeder-sprayer
tanks on the technological platform of the «integrated circuit» tractor

Рис. 8. Примеры оборудования для использования на технологической площадке трактора /
Fig. 8. Examples of equipment for use on the tractor's production site

Закключение. В настоящее время в Российской Федерации налажено производство колесных тракторов общего назначения. В первую очередь, это производство машин на Петербургском тракторном заводе и заводе «Ростсельмаш». В то же время в Российской Федерации полностью отсутствует производство колесных универсально-пропашных тракторов классов 1,4 и 2, необходимых при производстве пропашных и овощных культур.

Ниша производства универсально-пропашных колесных тракторов класса 2 может составить только для внутреннего рынка порядка 60 тысяч тракторов в год.

Российскому сельхозпроизводителю нужны современные тракторы, максимально отвечающие технологическим, экологическим и экономическим требованиям. В парке тракторов сельскохозяйственного предприя-

тия особое значение отводится универсально-пропашным моделям, способным работать на различных междурядьях сельскохозяйственных культур в процессе вегетации растений. При этом они должны обладать необходимыми техническими характеристиками, которые обеспечат выполнение агротехнических требований.

Из приведенных в материале моделей тракторов по своим характеристикам лучшими агротехнологическими качествами, предъявляемыми к универсально-пропашному трактору, обладают модели Fastrac 2170 британской компании JCB и трактор ЛТИ 162.5, выпуск которого готовится на новом производстве в г. Ижевске. Однако у последней модели есть серьезное преимущество на внутреннем рынке – цена.

Список литературы

1. Измайлов А. Ю., Кряжков В. М., Антышев Н. М., Елизаров В. П., Келлер Н. Д., Лобачевский Я. П., Сорокин Н. Т., Гурылев Г. С., Савельев Г. С., Сизов О. А., Шевцов В. Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ, 2013. 86 с.
2. Шевцов В. Г., Годжаев Т. З., Ерилина Е. В. Перспективы развития сельскохозяйственных мобильных энергосредств. Тракторы и сельхозмашины. 2018;(3):25-31.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35196985>
3. Лавров А. В., Зубина В. А., Шевцов В. Г. Критерии оптимизации состава тракторного парка в зависимости от типа воспроизводственного процесса. Инновации в сельском хозяйстве. 2018;(4):255-261.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36605479>
4. Годжаев З. А., Лавров А. В., Шевцов В. Г., Зубина В. А. О выборе технологического направления развития системы сельскохозяйственных мобильных энергосредств. Известия МГТУ «МАМИ». 2020;(1 (43)):35-41.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42745803>
5. Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020; 21(1):74-85.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>

6. Дурманов А. С. Далекое прошлое и недавнее будущее... из истории создания тракторов интегральной схемы в России. Липецк: ООО «Липецкая Печатная Компания», 2014. 319 с.
7. Трубицын Н. В., Таркинский В. Е., Подольская Е. Е. Критерии оценки эффективности сельскохозяйственных тракторов и нормативные документы на методы их получения. Техника и оборудование для села. 2018;(5):10-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34996132>
8. Белый И. Ф. Проблемные вопросы создания и испытаний новых тракторов. Техника и оборудование для села. 2018;(3):10-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32689311>
9. Хафизов К. А., Хафизов Р. Н. Энергетический метод оптимизации основных параметров трактора. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015;10(1(35)):75-81. Режим доступа: http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2015/1/15_hafizov_hafizov.pdf
10. Шило И. Н., Романюк Н. Н., Орда А. Н., Нукешев С. О., Кушнир В. Г. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(1):31-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607593>
11. Ахметов А. А., Ахмедов Ш. А. У. Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019;13(1):27-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36956543>
12. Панасюк А. Н., Липкань А. В. Расчет экологических порогов нормального давления колесных движителей машин на полевых работах на глинистых почвах. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020;14(4):43-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44391268>
13. Хафизов К. А., Хафизов Р. Н. Результаты многофакторного эксперимента по определению зависимости максимального давления колес трактора на почву от параметров трактора и физико-механических свойств почвы. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016;11(4(42)):84-96. Режим доступа: http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2016/4/16_khafizov.pdf
14. Зазуля А. Н., Пономарев А. Г., Дорохов А. С. Третье рождение интегрального трактора. Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК: мат-лы XX Международ. научн.-прак. конф. Тамбов, 26-27 сентября 2019 г. Тамбов: изд-во: типография «Студия печати Галины Золотовой», 2019. С. 119-126.

References

1. Izmaylov A. Yu., Kryazhkov V. M., Antyshev N. M., Elizarov V. P., Keller N. D., Lobachevskiy Ya. P., Sorokin N. T., Gurylev G. S., Savel'ev G. S., Sizov O. A., Shevtsov V. G. *Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda*. [The concept of modernization of agricultural tractors and the tractor fleet of Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM, 2013. 86 p.
2. Shevtsov V. G., Godzhaev T. Z., Erilina E. V. *Perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energosredstv*. [Perspective for the development of agricultural mobile energy]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018;(3):25-31. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35196985>
3. Lavrov A. V., Zubina V. A., Shevtsov V. G. *Kriterii optimizatsii sostava traktornogo parka v zavisimosti ot tipa vosproizvodstvennogo protsessa*. [Criteria for optimizing the composition of the tractor fleet depending on the type of the reproductive process]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2018;(4):255-261. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36605479>
4. Godzhaev Z. A., Lavrov A. V., Shevtsov V. G., Zubina V. A. *O vybore tekhnologicheskogo napravleniya razvitiya sistemy sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energosredstv*. [The selection of the technological direction of the development of the agricultural mobile energy facilities]. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020;(1 (43)):35-41. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42745803>
5. Didmanidze O. N., Devyanin S. N., Parlyuk E. P. *Traktor sel'skokhozyaystvennyy: vchera, segodnya, zavtra*. [Past, present, future of agricultural tractors]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020; 21(1):74-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>
6. Durmanov A. S. *Dalekoe proshloe i nedavnee budushchee ... iz istorii sozdaniya traktorov integral'noy skhemy v Rossii*. [Distant past and recent future ... from the history of creating integrated circuit tractors in Russia]. Liptsk: ООО «Lipetskaya Pечатnaya Kompaniya», 2014. 319 p.
7. Trubitsyn N. V., Tarkivskiy V. E., Podol'skaya E. E. *Kriterii otsenki effektivnosti sel'skokhozyaystvennykh traktorov i normativnye dokumenty na metody ikh polucheniya*. [Criteria for assessing the effectiveness of agricultural tractors and regulatory documents on methods of obtaining them]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;(5):10-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34996132>
8. Bely I. F. *Problemye voprosy sozdaniya i ispytaniy novykh traktorov*. [Problematic issues of developing and testing new tractors]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;(3):10-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32689311>

9. Khafizov K. A., Khafizov R. N. *Energeticheskiy metod optimizatsii osnovnykh parametrov traktora*. [Energy optimization method of main parameters of tractors]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2015;10(1(35)):75-81. (In Russ.). URL: http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2015/1/15_hafizov_hafizov.pdf
10. Shilo I. N., Romanyuk N. N., Orda A. N., Nukeshev S. O., Kushnir V. G. *Vliyanie mnogoosnoy khodovoy sistemy mashinno-traktornykh agregatov na plotnost' pochvy*. [Impact of multiaxial propulsion system of machine-and-tractor units on soil density]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;12(1):31-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32607593>
11. Akhmetov A. A., Akhmedov Sh. A. U. *Davlenie perednego koleasa na pochvu traktorov s razlichnoy kole-snoy formuloy*. [Study of front wheel pressure on the soil of tractors with a different wheel configuration]. *Sel'skokho-zyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2019;13(1):27-33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36956543>
12. Panasyuk A. N., Lipkan A. V. *Raschet ekologicheskikh porogov normal'nogo davleniya kolesnykh dvizhite-ley mashin na polevykh rabotakh na glinistyykh pochvakh*. [Calculation of the ecological thresholds of normal pressure of machine propulsion drive in working on clay soils]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020;14(4):43-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44391268>
13. Khafizov K. A., Khafizov R. N. *Rezultaty mnogofaktornogo eksperimenta po opredeleniyu zavisimosti maksimal'nogo davleniya koles traktora na pochvu ot parametrov traktora i fiziko-mekhanicheskikh svoystv pochvy*. [Results of multivariate experiment to determine dependence of the maximum pressure of tractor wheels on the soil from tractor's parameters and physical and mechanical properties of soil. statistical analysis]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2016;11(4(42)): 84-96. (In Russ.). URL: http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2016/4/16_khafizov.pdf
14. Zazulya A. N., Ponomarev A. G., Dorokhov A. S. *Tret'e rozhdenie integral'nogo traktora*. [The third birth of the integral tractor]. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produkcii – novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya APK: mat-ly XX Mezhdunarod. nauchn.-prak. konf. Tambov, 26-27 sentyabrya 2019 g.* [Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products-new technologies and equipment of a new generation for the agro-industrial complex: Proceedings of the XXth International scientific and practical conf. Tambov, September 26-27, 2019]. Tambov: izd-vo: tipografiya «Studiya pechati Galiny Zolotovoy», 2019. pp. 119-126.

Сведения об авторах

Зернов Виталий Николаевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>

Петухов Сергей Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Пономарев Андрей Григорьевич**, кандидат техн. наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>, e-mail: agrodisel@mail.ru

Information about the authors

Vitaly N. Zernov, PhD in Engineering, leading researcher, the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>

Sergey N. Petukhov, PhD in Engineering, leading researcher, the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Andrey G. Ponomarev**, PhD in Engineering, Head of the Laboratory, the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>, e-mail: agrodisel@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

