

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 24
№ 6
2023

Vol. 24
No. 6
2023

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



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

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

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

www.agronauka-sv.ru

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Подписано к печати
14.12.2023

Дата выхода в свет
25.12.2023

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 19,77.

Тираж 100 экз. Заказ 31.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

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

Савченко
Иван Васильевич

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич
Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Пой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Артемов Андрей
Александрович

Брандорф
Анна Зиновьевна
Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев
Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна
Юнусов Губейдулла
Сибяттулович

д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела
растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия
д.б.н., профессор, руководитель аграрно-экологического направления
АНО «Нижегородский научно-образовательный центр», г. Нижний Новгород,
Россия

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия
д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»,
г. Нижний Новгород, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия

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

д.с.-х.н., доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией координатного
земледелия, зам. директора по научной работе, Мордовский НИИ сельского
хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-
Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Саранск, Республика Мордовия, Россия

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

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

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсоведения ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия
д.в.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией ветеринарной
биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

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

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



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

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

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

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

Editorial council

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

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

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

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

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

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

Electronic version of the journal: <http://www.agronauka-sv.ru>

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

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

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova
Cover layout
Natalia N. Soboleva

Passed for printing
14.12.2023

Date of publication
25.12.2023

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. 1. 19,77.
Circulation 100 copies. Order 31.
Free price.

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

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

Editorial Board

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Т. Н. Лисина, О. В. Бурдышева, Е. С. Шолгин

Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор)..... 913

В. С. Понамарёв, О. С. Попова, А. В. Кострова, Л. А. Агафонова

Клиренс-тесты как метод диагностики патологий гепатобилиарной системы у животных..... 924

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

И. Н. Щенникова, Т. К. Шешегова, О. М. Снигирева

Новый сорт ярового ячменя Боярин и элементы сортовой технологии..... 939

О. А. Жуйкова, Г. А. Баталова

Анализ адаптивности сортов и линий овса по элементам продуктивности в условиях Кировской области..... 949

С. С. Пислегина, С. А. Четвертных

Результаты изучения коллекционных сортообразцов гороха (*Pisum sativum* L.) по хозяйственно полезным признакам..... 958

К. А. Колошина, Н. И. Полухин, К. В. Авдеенко

Влияние продолжительности периода хранения аэропонных миниклубней на рост и развитие сортов картофеля в полевых условиях..... 969

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Т. А. Рожмина, А. В. Мясникова

Идентификация генов устойчивости к фузариозному увяданию у образцов льна масличного с различным жирнокислотным составом..... 980

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

Е. П. Шанина, Г. А. Лиходеевский

Бактериальное сообщество сельскохозяйственных почв, используемых для возделывания картофеля в Свердловской области..... 989

А. А. Широких

Находки фармакологически ценного сумчатого гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в Кировской области..... 999

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов, В. А. Гулакова

Комплексная биоконверсия вторичных продуктов переработки гороховой муки в кормовые дрожжи.... 1007

ЗООТЕХНИЯ

А. Д. Лемякин, Л. С. Баданина, К. Д. Сабетова, А. А. Чаицкий, П. О. Щеголев

Реализация генетического потенциала коров черно-пестрой породы различных генотипов по гену каппа-казеина..... 1021

Е. С. Федорова, О. И. Станишевская

Низкотемпературное воздействие в раннем эмбриогенезе как метод повышения общей резистентности организма цыплят к инфекционным заболеваниям..... 1029

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

О. А. Воронина, С. Ю. Зайцев, А. А. Савина, Н. С. Колесник

Оценка содержания церулоплазмينا, меди и координирующих медь аминокислот в молоке коров на разных сроках лактации..... 1038

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин, В. Ю. Мокиев

Определение оптимальных режимов работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при скарификации... 1049

Е. Л. Пашин, А. В. Орлов

Метод испытания лубяных волокон посредством скоростного изгиба..... 1057

ЭКОНОМИКА

Г. Н. Никонова

Особенности современной институциональной среды земельных отношений в аграрном секторе.... 1067

CONTENTS

REVIEWS

- Tatyana N. Lisina, Olga V. Burdysheva, Evgenii S. Sholgin*
Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review)..... 913
- Vladimir S. Ponamarev, Olga S. Popova, Anastasia V. Kostrova, Lyudmila A. Agafonova*
Clearance tests as a diagnosis method of hepatobiliary system pathologies in animals..... 924

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Irina N. Schennikova, Tatyana K. Sheshegova, Olga M. Snigireva*
A new variety of spring barley Boyarin and elements of varietal technology..... 939
- Olga A. Zhuikova, Galina A. Batalova*
Analysis of adaptability of oat varieties and lines by productivity elements in the conditions of Kirov region..... 949
- Svetlana S. Pislegina, Svetlana A. Chetvertnykh*
Results of the study of collection pea variety samples (*Pisum sativum* L.) according to agronomic traits..... 958
- Kristina A. Koloshina, Nikolay I. Polukhin, Konstantin V. Avdeenko*
The influence of the duration of the storage period of aeroponic minitubers on the growth and development of potato varieties in field conditions..... 969

PLANT PROTECTION

- Tatiana A. Rozhmina, Anastasiya V. Myasnikova*
Identification of resistance genes to Fusarium wilt in oil flax samples with different fatty acid composition.. 980

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

- Elena P. Shanina, Georgiy A. Lihodeevskiy*
Bacterial community of agricultural soils used for potato cultivation in Sverdlovsk region..... 989
- Alexander A. Shirokikh*
Records of pharmacologically valuable ascomycete fungus *Cordyceps militaris* (L.) Fr. in the Kirov region.. 999

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

- Valentina V. Kolpakova, Ruzaliya V. Ulanova, Denis S. Kulikov, Valentina A. Gulakova*
Complex bioconversion of secondary products of processing pea flour into fodder yeast..... 1007

ZOOTECHNY

- Alexander D. Lemyakin, Lada S. Badanina, Ksenia D. Sabetova, Alexey A. Chaitskiy, Pavel O. Schiogolev*
Realizing the genetic potential of black-and-white cows of different genotypes by the kappa-casein gene.... 1021
- Elena S. Fedorova, Olga I. Stanishevskaya*
Low-temperature exposure in early embryogenesis as a way of increasing the resistance of chicks to infectious diseases..... 1029

VETERINARY MEDICINE

- Oksana A. Voronina, Sergey Yu. Zaitsev, Anastasia A. Savina, Nikita S. Kolesnik*
Evaluation of the content of ceruloplasmin, copper and copper-coordinating amino acids in cow milk at different lactation periods..... 1038

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Aleksandr I. Burkov, Andrei L. Gluhkov, Viktor A. Lazukin, Valentin Yu. Mokiev*
Determination of the optimal modes of operation of the clover grater and scarifier KS-0.3 P during scarification.. 1049
- Evgenij L. Pashin, Alexander V. Orlov*
Testing flax fibers using high-speed bending..... 1057

ECONOMY

- Galina N. Nikonova*
Features of the modern institutional environment of land relations in the agricultural sector..... 1067

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-923>



УДК 635.21:58.035.4:58.084.1

Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор)

© 2023. Т. Н. Лисина✉, О. В. Бурдышева, Е. С. Шолгин

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

*Картофель (Solanum tuberosum L.) – важнейшая сельскохозяйственная культура, обеспечивающая питание населения и продовольственную безопасность страны. Для получения качественных безвирусных микроклонов картофеля проводится размножение в культуре *in vitro*. Вопрос повышения эффективности размножения на данном этапе очень важен и может быть решен за счет оптимизации параметров освещения, в том числе спектрального состава излучателя. В данной статье проведен обзор опубликованных работ, преимущественно за последние 20 лет, по изучению влияния светодиодного освещения разного спектрального состава и мощности на растения-регенеранты картофеля при выращивании *in vitro*. Приведены морфометрические и физиологические показатели растений картофеля, на которые возможно влиять, изменяя спектральный состав освещения. Данный обзор может быть полезен для организаций, занимающихся микроклональным размножением картофеля, а также научным коллективам, разрабатывающим технологии оптимального культивирования картофеля.*

Ключевые слова: микроклональное размножение, светодиоды, спектр света, фотосинтетически активная радиация

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122031100058-3).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лисина Т. Н., Бурдышева О. В., Шолгин Е. С. Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):913-923. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-923>

Поступила: 05.05.2023

Принята к публикации: 23.10.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review)

© 2023. Tatyana N. Lisina✉, Olga V. Burdysheva, Evgenii S. Sholgin

Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

Potato (Solanum tuberosum L.) is a significant and valuable crop for the economy of many countries. It provides people nutrition and national food security. To obtain healthy potato planting material, propagation in vitro culture is carried out. The problem of increasing the propagation efficiency at this stage is very relevant and can be solved by optimizing the lighting parameters, including the spectral composition of the emitter. The review of published works mainly over the last 20 years concerning the study of the effect of LED lighting of different spectral composition and power on regenerated potato plants, grown in vitro, is given in this paper. Morphometric and physiological parameters of potato plants are given, which can be influenced by changing the spectral composition of illumination. Data on lighting recommendations for different varieties of potato are given. This review may be useful for organizations involved in potato micropropagation, as well as for research teams developing technologies for optimal potato cultivation.

Key words: micropropagation, LEDs, light spectrum, photosynthetically active radiation

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

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

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

For citation: Lisina T. N., Burdysheva O. V., Sholgin E. S. Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review). Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka=Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):913-923. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-923>

Received: 22.03.2023

Accepted for publication: 23.10.2023

Published online: 20.12.2023

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – это важная сельскохозяйственная культура для экономики многих стран, в том числе и России. Картофель относится к светолюбивым растениям. Даже небольшие изменения в режиме освещения влияют на рост и развитие растений картофеля, то есть свет является одним из важных факторов окружающей среды для этой культуры, источником энергии для фотосинтеза [1]. Одной из причин невысокого урожая картофеля может являться низкое качество посадочного материала. Защита картофеля от вирусных болезней – одна из важнейших и сложных проблем в семеноводстве картофеля. Начальным этапом производства высококачественного семенного картофеля является получение посадочного материала *in vitro*. Технологии культивирования *in vitro* достаточно трудоемки, поэтому вопрос повышения эффективности размножения на данном этапе очень актуален и может быть решен за счет оптимизации параметров освещения.

На продуктивность картофеля в световой культуре оказывают влияние такие характеристики освещения, как интенсивность, продолжительность фотопериода, импульсное/непрерывное излучение, спектральный состав [2, 3]. Имеются сообщения, что спектральный состав источника света можно использовать для контроля роста и морфогенеза тканей и органов картофеля *in vitro* [4]. В частности, в 1995 году было обнаружено, что общее содержание хлорофилла в проростках картофеля *in vitro* возрастало за счет увеличения плотности потока активных в отношении фотосинтеза фотонов, излучаемых красными светодиодами, в то время как площадь листьев и общая масса всего растения существенно не изменялась [5].

Диапазон длин волн, способных оказывать прямое или косвенное влияние на растения, можно разделить на ультрафиолет В (280-320 нм), ультрафиолет А (320-400 нм), синий (400-500 нм), зеленый (500-600 нм), красный (600-700 нм) и дальний красный (700-800 нм) [2, 6, 7, 8]. В опубликованных работах есть информация о влиянии каждого из этих

диапазонов на жизнедеятельность растений, роли в физиологических процессах [2, 9, 10].

Для успешного существования растений важна фотосинтетически активная радиация – это лучи длиной волны 400-700 нм¹. Для процесса фотосинтеза наиболее значимыми являются красные (600-720 нм) и оранжевые (595-620 нм) лучи. Посредством влияния на интенсивность фотосинтеза эти лучи способствуют росту и развитию растений [6]. Синие лучи оказывают регуляторное влияние, улавливаются криптохромами и фототропинами, являются обязательной частью излучения при культивировании растений [2].

На сегодняшний день в защищенном грунте распространено и экономически успешно оправдывает себя светодиодное освещение (Light Emission Diodes – LED) [11, 12], которое имеет ряд преимуществ для культивирования растений, в том числе использование практически любого спектра, что дает неисчерпаемые возможности для научных исследований по выявлению влияния спектрального состава света на физиологию и биохимию растений [13]. К достоинствам светодиодов также можно отнести высокий КПД и долгий срок службы [14].

Цель обзора – анализ опубликованных обзорных и экспериментальных работ по изучению влияния на растения-регенеранты картофеля *in vitro* светодиодного освещения разного спектрального состава и мощности. Данный обзор может быть полезен для организаций, занимающихся микроклональным размножением картофеля, научным коллективом, разрабатывающим технологии оптимального культивирования картофеля.

Материал и методы. Поиск публикаций первоначально проводили на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU и ResearchGate. В качестве поискового запроса использовали слова и словосочетания: микроклональное размножение, картофель, светодиодное освещение, спектральный состав, potato, *Solanum tuberosum*, LED. Поисковые запросы были объединены в разных вариантах между собой и запрашивались для названий и аннотаций. Дополнительно изучали списки литературы найденных публикаций.

¹Копылов В. И., Копылов Н. И., Скляр С. И., Сторчоус В. Н. Программирование урожая садовых культур: учебник и практикум для вузов. М.: Изд-во Юрайт, 2023. 349 с. URL: <https://urait.ru/bcode/519164>

В 2005 году опубликована обзорная работа по влиянию света на рост и морфогенез картофеля *in vitro* [4], в которой подробно представлены исследования на тот период, в данный обзор были включены публикации в основном с 2005 по 2023 год.

Основная часть. В результате поиска были найдены публикации из стран: Россия, Индия, Китай, Сербия, Черногория, Тайвань, Беларусь. В этих публикациях исследованы сорта картофеля: Розара [15, 16], Ароза [15, 17], Ривьера [15], Луговской [18, 19], Ред Скарлет [19, 20, 21], Ред Леди [17], Чароит [1, 20], Елизавета [20], Рождественский, Снегирь [22, 23], Сударыня, Кардинал [1], Жуковский ранний [17, 19, 24], Удача [19, 24], Лига, Нора, Ранняя роза, Розалинд, Архидея, Невский, Одиссей, Памяти Осиповой, Радонежский, Ладожский, Лазарь, Пранса, Скарб, Спиридон, Симфония [19], Инноватор [21], Азарт, Сатурн, Любава, Фрителла, Вектор [25]. Выявлено, что сорта картофеля имеют специфичный ответ на изменения параметров освещения, выраженный в наличии или отсутствии статистически значимых отличий в морфологических и биохимических показателях [15, 22, 26, 27].

На этапе производства оздоровленных микрорастений картофеля актуальна разработка приемов повышения скорости роста после черенкования [28], поэтому встречается множество работ, нацеленных на увеличение показателей роста. При черенковании картофеля важен показатель «количество междоузлий», так как он определяет число возможных новых растений [27] и учитывался практически во всех найденных работах. Также из морфометрических показателей обращали внимание на длину растения [1, 15, 16, 24, 29], площадь листовой пластинки [27, 29], длину и количество корней [1, 27, 16, 21], индекс формирования растений [27], массу наземной части [21, 23, 29]. Известна работа по изучению влияния спектрального состава света на образование микроклубней у микрорастений. Не обнаружено влияние разного качества света на периметр и площадь поперечного сечения микроклубней, но есть различия в количестве сформированных микроклубней [30].

Определены существенные различия в развитии устьичного аппарата в зависимости от источника света, которые не всегда отражались на фенотипе проростков [31]. Известны исследования, дающие представление о реакции проростков картофеля на различные световые качества на транскриптомном уровне. Различное

качество света индуцировало разные паттерны экспрессии генов, многие из которых были вовлечены в метаболические пути, такие как метаболизм порфирина и хлорофилла. Регуляция этих генов может объяснить более высокое или более низкое содержание фотосинтетических пигментов [32].

Множество работ доказывают положительное влияние светодиодного освещения при выращивании картофеля в культуре *in vitro*, но описывают довольно различные эффекты на разные морфометрические показатели. Описано положительное влияние светодиодных светильников на рост и развитие меристемных растений картофеля [16], продемонстрировано увеличение количества междоузлий у сорта Кардинал, количества и длины корней у сорта Сударыня [1]. При условии подбора оптимальных параметров светодиодного освещения показано, что высота микрорастений картофеля увеличивается по сравнению с контролем [17]. По показателям «содержание сухого вещества» и «количество пигментов» при использовании различных источников света не было установлено статистически значимой разницы [20].

Монохромное освещение и досвечивание. Согласно литературным данным, сужение спектрального состава освещения не дает преимуществ при культивировании картофеля. По сравнению с белым светодиодным освещением полного спектра, действие монохромного синего, зеленого и красного света оказывало негативное влияние на накопление биомассы микрорастениями картофеля более чем на 50 % [26, 33], также снижалась скорость карбоксилирования [26].

Известна работа, посвященная изучению фототропного искривления побегов картофеля, выращенных *in vitro* [34]. Показано, что одностороннее синее облучение активно индуцировало фототропное искривление побегов картофеля по направлению к источнику света. Выдвинута гипотеза, что это явление регулируется циркадными ритмами.

Зафиксирован наибольший прирост сухой массы надземной части растений микроклонов картофеля сорта Луговской при досветке красными лучами [18]. Следует отметить, что в данной работе использовали полностью люминесцентные источники облучения.

Китайские ученые изучали дальнейшее развитие растений картофеля, получаемых монохроматическую досветку на стадии микроклонального размножения. После пересадки

в теплицу в течение двух месяцев проростки картофеля *in vitro*, получающие досветку синим, красным и красно-сине-зеленым светом, дали высокий процент клубней крупного размера. Досветка синим на стадии микроклонального размножения привела к увеличению сырой и сухой массы клубней, но уменьшила количество клубней на проростке [35]. Эти результаты показали, что эффективность досветки монохроматическим синим светом, а также светом комбинированного спектра (красного, синего или/и зеленого) выше, чем эффективность освещения флуоресцентными лампами полного спектра при микроклональном размножении проростков картофеля.

Активность корней, содержание растворимого белка и свободных аминокислот также значительно увеличивались при досветке лучами синего спектра, тогда как содержание углерода повышалось под воздействием лучей красного спектра. Кроме того, толщина листа и паренхимы значительно возросли с помощью синей досветки. Хлоропласты под воздействием дополнительного синего света показали хорошо развитые тилакоиды [35].

Показано значение влияния зеленого спектра на проростки картофеля *in vitro* [36]. Добавление зеленых светодиодов к комбинации красных и синих светодиодов способствовало росту проростков картофеля [33, 36]. Для изучаемых сортов *Solanum tuberosum* L. зеленый участок спектра оказывал влияние на увеличение длины корней в сравнении с контролем [15].

Микроскопические исследования показали, что клетки проростков микрорастений картофеля были мельче при освещении синим светом по сравнению с культивированием при красном свете [37].

Имеются исследования, показывающие, что при общем положительном влиянии светодиодные длинноволновые монохроматические источники света нежелательно использовать для микроразмножения безвирусного материала картофеля из-за хрупкости стеблей и слабо-развитых листьев [23]. В данной работе сообщают о том, что изучение разной мощности света при полном спектре выявило оптимум ($135 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), при котором активировался рост проростков и увеличилось накопление надземной и корневой массы. Низкая плотность фотонного потока с большой продолжительностью предпочтительнее, чем высокая плотность с короткой продолжительностью [38].

Сочетание красного и синего света. Хлорофилл более эффективно поглощает крас-

ную и синюю части спектра, которые наиболее эффективны для осуществления фотосинтеза, поэтому эти диапазоны длин волн являются неоспоримо необходимыми. Однако современные исследования показали, что для каждой культуры характерно свое оптимальное соотношение красного и синего света, которое дополнительно варьируется в зависимости от целевого эффекта [8].

Имеются результаты исследований способов освещения: 100 % спектра – красные светодиоды; 75 % красных и 25 % синих; 50 % красных и 50 % синих; 25 % красных и 75 % синих светодиодов; 100 % – синие светодиоды; 100 % – белые светодиоды. Сочетание 75 % красных и 25 % синих светодиодов является оптимальным для роста микрорастений картофеля *in vitro*. В этом варианте большинство показателей роста и физиологических параметров были значительно выше варианта с использованием 100 % белых светодиодов [33]. Увеличение площади листа и концентрации хлорофилла наблюдали при монохромном освещении (100 % синих светодиодов).

Соотношение красных и синих светодиодов 9:1 было наиболее благоприятным для формирования побегов картофеля из верхушек побегов, восстановленных после криоконсервации [39]. В другом источнике показано, что комбинация красных и синих спектров излучения светодиодного света при соотношении 30:70 оказывает стимулирующий эффект на синтез хлорофилла, растворимых белков и углеводов, а также удаления активных форм кислорода из антиоксидантных ферментов картофеля [40].

Изучен эффект одновременного и чередующегося синего и красного светодиодного освещения на фотомиксотрофный рост микро-растений картофеля *in vitro*. Результаты показали, что накопление свежей/сухой массы проростков картофеля *in vitro* при одновременном синем и красном свете было выше, чем при чередовании синего и красного, указывая на то, что одновременное воздействие синего и красного света необходимо для оптимального роста растений [38].

Мультиспектральное освещение. Несмотря на важное значение красного и синего света для фотосинтеза, эти длины волн не удовлетворяют всех потребностей картофеля по освещению, что показано в экспериментах по сравнению мультиспектрального и красно-синего освещения [21]. Для исследования использовали следующие источники освещения: специально

разработанный бокс с освещением, схожим по спектру с излучением солнца (SB); красно-зелено-синий бокс (RGB); полный спектр (FS); красно-синий бокс (RB). В качестве контрольного света использовали белые люминесцентные лампы. Динамического освещения достигали путем переноса группы микрорастений из одного бокса в другой. Доля красного/зеленого/синего спектров в источниках света была равна (в процентах): 39R/39G/22B для SB; 63R/21G/16B для RGB; 74R/8G/18B для FS; 22R/49G/29B для контроля. Фотосинтетическую плотность потока фотонов (Photosynthetic Photon Flux Density – PPFD) установили на уровне 45 мкмоль/(м²*с). Морфометрические измерения проводили через 14 и 28 дней. Микрорастения развивались по-разному с первых дней эксперимента. Варианты освещения RGB и RGB-SB показали наибольшую эффективность для микрорастений картофеля [21].

Изучено влияние красных лучей с разными длинами волн (660 нм и 630 нм) на рост и морфогенез проростков картофеля *in vitro*. Микрорастения картофеля выращивали при пяти различных условиях освещения: флуоресцентный белый свет; объединенный спектр синего, зеленого и красного света при длине волны 630 нм (R630BG) и 660 нм (R660BG); объединенный спектр синего и красного света при длине волны 630 нм (R630B) и 660 нм (R660B). Исследованы морфогенез, физиологические параметры и анатомическое строение листа проростков картофеля *in vitro*. Результаты показали, что режимы освещения R630BG и R660BG способствовали увеличению диаметра стебля и площади листьев, количества хлорофилла, растворимого сахара, растворимого белка и крахмала в проростках картофеля *in vitro*. Большинство устьиц при режиме освещения R660BG имели эллиптическую форму. Листья проростков картофеля, выращенных *in vitro* при R630BG и R660BG, имели четко выраженный верхний слой эпидермиса и столбчатый слой паренхимы. Добавление зеленого света к комбинированному спектру красного и синего способствовало росту и развитию проростков картофеля *in vitro* в большей степени, чем в варианте с комбинированным спектром красного и синего без зеленого, а красный свет при длине волны 660 нм более эффективно стимулировал рост растений, чем красный при длине волны 630 нм [39].

Сортоспецифичная реакция на качество света. Безусловно, результаты производства семенного материала картофеля зависят не

только от освещения, но и от многих других факторов. Поэтому целесообразно направлять усилия на оптимизацию сочетаний факторов окружающей среды. Имеются исследования, показывающие, что реакция растений картофеля на разные сочетания освещения и состава питательной среды зависит от генетических факторов (сорта).

В Пермском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Пермского федерального научного центра проведены исследования на самой многочисленной выборке из 22 сортов картофеля. Были получены данные, демонстрирующие значительные различия в физиологическом ответе растений на условия освещения [19]. В продолжение исследований был проведен эксперимент с определением содержания фотосинтетических пигментов у трех сортов картофеля [41]. Установлено влияние спектрального состава света на длину растений-регенерантов картофеля *in vitro*, количество междоузлий, массу надземной части, концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях. Дисперсионный двухфакторный анализ позволил выявить признак, наибольший вклад в изменчивость которого вносит именно фактор освещения, а не наследственный – это масса надземной части [41].

Проведены исследования влияния нескольких вариантов освещения с различным спектром и суммарным фотосинтетически активным фотонным потоком на микрорастения картофеля [15]. В результате данных исследований установлено, что на 30 суток наибольшую длину имели растения, культивируемые с повышенным уровнем «фотосинтетического» фотонного потока – 21,8 и 32,4 мкмоль/с. Интересным в этой работе является подтверждение, что существенная доля изменчивости морфометрических признаков обусловлена генотипическими факторами, а не различиями в освещенности. Таким образом, подтверждена высокая специфичность реакции разных сортов картофеля на характеристики освещения [15].

Показана сортоспецифичность по образованию корней при светодиодном освещении разного спектрального состава и отзывчивости на состав питательной среды. В данной работе были исследованы сорта картофеля Азарт, Сатурн, Любава, Фрителла, Вектор [25].

Удалось сформулировать рекомендации по культивированию некоторых сортов картофеля в эксперименте с источниками четырех вариантов освещения. Наиболее оптимальные

условия освещения для роста и формирования междоузлий для сорта Жуковский ранний создали светодиоды полного спектра, для сорта Удача и гибрида 11.26/28 – розовые люминесцентные лампы [24].

Опубликован опыт исследования функциональных характеристик фотосинтетического аппарата у картофеля в культуре *in vitro*, в котором продемонстрирован сложный характер активности процессов фотосинтеза под влиянием разных спектральных параметров освещения. При низкой интенсивности освещения разного спектра разница в накоплении сухого вещества может быть объяснена процессами, связанными с различной активностью реакций темновой фазы фотосинтеза [26]. В данной работе проанализированы скорость фотосинтеза, скорость транспирации, эффективный квантовый выход фотосистемы II, нефотохимическое тушение, скорость карбоксилирования, скорость электронного транспорта, проводимость устьиц [26], указаны используемые светодиоды (красные, синие, белые, зеленые), но не отмечено процентное соотношение спектров светодиодного освещения.

К сожалению, во многих работах [16, 26, 35, 42] авторы пренебрегают указанием численных параметров освещения (плотность светового потока, спектр), что делает невозможным повторение экспериментов, применение результатов и использование выявленных положительных воздействий для разработки сортовых технологий культивирования микрорастений картофеля. Указание только названия используемых ламп, также как только соотношения красного, синего и зеленого света не является полной и достаточной информацией для анализа.

Было показано, что условия освещения оказывают наибольшее влияние на рост растений-регенератов картофеля в период с 10 по 30 день [9, 43]. Исследования подтверждают изменение оптимума спектрального состава света по мере роста и развития микрорастений картофеля. К тому же спектральные предпочтения растений зависят от стадии онтогенеза [44]. Относительно мало известно о влиянии различного соотношения потоков красных, зеленых и синих фотонов на рост и развитие картофеля после пересадки *ex vitro* [33].

Заключение. Результаты опубликованных экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о существенном влиянии спектрального состава источника освещения на показатели роста растений-регенератов карто-

феля и характеристики фотосинтетического аппарата. Спектральный состав освещения можно использовать как регулирующий фактор при культивировании картофеля *in vitro*. Опубликованные экспериментальные данные показывают, что с помощью создания определенного спектра освещения при прочих равных условиях можно увеличить длину междоузлий, и даже количество микроклубней, повышая индекс размножения. Спектральным составом освещения можно воздействовать на корнеобразование микрорастений, что сделает их более устойчивыми после пересадки на аэропонные/гидропонные установки или в теплицы.

Научные исследования показали нецелесообразность разделения во времени облучения в разных областях спектра, нецелесообразность монохромного освещения. Соотношение красного и синего света в общем спектре освещения влияет на интенсивность фотосинтеза посредством влияния на концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях и раскрытие устьиц. Оптимальное соотношение красного и синего света варьирует от 3:1 до 9:1 в зависимости от сорта. Относительно мало работ, изучающих влияние спектров не только видимого света, но и ближнего ультрафиолета и дальнего красного света. Данные длины волн не участвуют в фотосинтезе непосредственно, но влияют на биохимические процессы и рост. Возможно, для достижения максимальной продуктивности растений картофеля *in vitro* были бы полезны кратковременные досветки в этих диапазонах.

Оптимальная плотность фотонного потока зависит от спектра источника освещения, низкая плотность фотонного потока с большой продолжительностью предпочтительнее, чем высокая плотность с короткой продолжительностью.

Генетические различия сортов картофеля определяют различную реакцию растений на изменения спектрального состава источников освещения, поэтому для обеспечения максимальной эффективности процесса производства оздоровленного семенного материала картофеля актуальна разработка рекомендаций освещения (мощность, спектральный состав) для отдельных сортов картофеля.

Исследования подтверждают изменение оптимума спектрального состава света по мере роста и развития микрорастений картофеля. Следовательно, перспективна разработка методик смены спектрального состава освещения

во время культивирования растений, это направление мало представлено в опубликованных экспериментальных работах.

После окончания этапа культивирования *in vitro* растения пересаживают на аэропонные, гидропонные установки либо в специализиро-

ванные теплицы. На этих этапах также используется искусственное освещение. Необходимо изучить оптимальные параметры освещения на этом переходном этапе в сочетании еще с одним параметром освещения – длиной фотопериода.

Список литературы

1. Федорова Ю. Н., Лебедева Н. В. Влияние света разного спектрального состава на рост растений картофеля *in vitro*. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(4):2-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28090733> EDN: XQSLKB
2. Варушкина А. М., Луговская Н. П., Максимов А. Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультур. Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019;(2):37-46. DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4> EDN: LBXBRF
3. Ходаева В. П., Куликова В. И. Продуктивность оригинального семенного материала в зависимости от способа размножения оздоровленного картофеля. Достижения науки и техники АПК. 2009;(9):18-19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14451641> EDN: MEGJRL
4. Seabrook J. E. A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*: A review. American Journal of Potato Research. 2005;82:353-367. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02871966>
5. Miyashita Y., Kitaya Y., Kozai T., Kimura T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*: using light emitting diode as a light source for micropropagation. Acta Hortic. 1995;393(22):189-194. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.393.22>
6. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Sergeeva L. I., Machachkova I., Golyanovskaya S. A. Morphogenesis of Potato Plant *in vitro*. I Effekt of light quality and hormones. Journal of Plant Growth Regulation. 2014;13:143-146. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00196378>
7. Mawphlang O. I. L., Kharshiing E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. Frontiers in Plant Science. 2017;8:01181. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01181>
8. Закурин А. О., Щенникова А. В., Камионская А. М. Светокультура растениеводства защищенного грунта: фотосинтез, фотоморфогенез и перспективы применения светодиодов. Физиология растений. 2020;67(3):246-258. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0015330320030227> EDN: QYHJTR
9. Battle M. W., Jones M. A. Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system. Plant, Cell & Environment. 2020;43(1):16-27. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13643>
10. Войцеховская О. В. Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений. Физиология растений. 2019;66(3):163-177. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0015330319030151> EDN: ZBGQXQ
11. Барсукова Е. Н., Чибизова А. С. Влияние спектра светодиодного освещения на процесс микроклонального размножения безвирусных растений картофеля различных сортов. Аграрный вестник Приморья. 2019;(1(13)):18-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41297057> EDN: UGUNXO
12. Karakaitis D. Y. Technical and economic efficiency of led lights in green crops. Amazonia Investiga. 2022;11(53):336-347. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2022.53.05.33>
13. Gomez C., Izzo L. G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. AIMS Agriculture and Food. 2018;3(2):135-153. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.2.135>
14. Нетесов С. В., Лапшин И. П., Козлов А. В. Влияние светодиодных ламп на рост растений. Мир Инноваций. 2020;(1):11-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42736453> EDN: YVWMBY
15. Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Милехин А. В., Рубцов С. Л. Оптимизация освещения микрорастений картофеля *in vitro* с использованием светодиодных источников. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(6(92)):85-91. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-85-91> EDN: YEHIME
16. Козлов А. В., Нетесов С. В., Ренев Н. О. Анализ показателей влияния искусственного освещения на рост и развитие меристемных растений *Solanum tuberosum* L. сорта Розара. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;2(88):126-129. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-126-129> EDN: JGITLD
17. Милехин А. В., Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Рубцов С. Л., Вовчук О. А. Изучение влияния различных видов освещения на рост и развитие меристемных растений картофеля *in vitro*. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015;17(4-3):578-580. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26143799> EDN: WACSPH
18. Головацкая И. Ф., Дорофеев В. Ю., Медведева Ю. В., Никифоров П. Е., Карначук Р. А. Оптимизация условий освещения при культивировании микроклонов *Solanum tuberosum* L. сорта Луговской *in vitro*. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013;(4(24)):133-144. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134451> EDN: RUMPUZ
19. Варушкина А. М., Яхина А. И., Ширинкина А. С., Цёма Л. Г., Латыпова А. Л. Влияние спектрального состава света на физиологический ответ картофеля *in vitro*. Аграрный научный журнал. 2021;(4):8-11. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp8-11> EDN: DOKRMH
20. Кононенко А. Н. Влияние различных источников света на развитие мини-растений картофеля в условиях светокультуры. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016;(45):50-56. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27674970> EDN: XHPXBF

21. Nakonechnaya O. V., Subbotin E. P., Grishchenko O. V., Gafitskaya I. V., Orlovskaya I. Yu., Kholin A. S., Goltsova D. O., Subbotina N. I., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. *In vitro* potato plantlet development under different polychromatic led spectra and dynamic illumination. *Botanica Pacifica: a Journal of Plant Science and Conservation*. 2021;10(1):69-74. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2021.10102>
22. Kulchin Yu. N., Nakonechnaya O. V., Gafitskaya I. V., Grishchenko O. V., Epifanova T. Yu., Orlovskaya I. Yu., Zhuravlev Yu. N., Subbotin E. P. Plant morphogenesis under different light intensity. *Diffusion and Defect Data. Defect and Diffusion Forum*. 2018;386:201-206. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.386.201>
23. Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Grishchenko O. V., Bulgakov V. P., Zhuravlev Y. N., Subbotin E. P., Kilchin Yu. N. Growth of *Solanum tuberosum* plantlets in vitro under LED light sources. *Proc. SPIE, Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics 2017*. 2019;110240E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2314903>
24. Баснев С. С., Газдаров М. Д., Тамахина А. Я., Газзаев Г. Т., Абаев А. А. Влияние качества освещения и состава питательной среды на рост и развитие растений картофеля в культуре *in vitro*. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2022;59(4):18-25. DOI: https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_18 EDN: DQDLOE
25. Чусова Н. С., Муратова С. А. Влияние условий культивирования *in vitro* на эффективность ризогенеза микро растений картофеля. *Наука и Образование*. 2019;2(2):260. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38578490> EDN: BEQQII
26. Мартиросян Ю. Ц., Диловарова Т. А., Мартиросян В. В., Креславский В. Д., Кособрюхов А. А. Действие светодиодного облучения различного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля в культуре *in vitro*. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):680-687. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.680rus> EDN: WZJQJN
27. Никонович Т. В., Шпак М. Ю., Левый А. В. Влияние спектрального состава света на морфофизиологические реакции растений-регенерантов *Solanum tuberosum* в условиях культуры *in vitro*. *Биотехнологические приемы в сохранении биоразнообразия и селекции растений: сб. ст. Междунар. научн. конф. Минск: ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», 2014. С. 183-190. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=zbxvzv> EDN: ZBVXVZ*
28. Смолеговец Д. В., Анисимов Б. В. Инновации в системе клонального микро размножения картофеля и выращивания биотехнологических микро клубней. *Картофелеводство (результаты исследований, инновации, практический опыт)*. 2013;(1):304-310.
29. Субботин Е. П., Гафицкая И. В., Наконечная О. В., Журавлев Ю. Н., Кульчин Ю. Н. Влияние искусственного солнечного света на рост и развитие растений-регенерантов *Solanum tuberosum*. *Turczaninowia*. 2018;21(2):32-39. DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.2.4> EDN: XVLNAT
30. Develi B. E., Miler N. Impact of Light Quality on *in vitro* Potato Microtubers Formation. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2023;10(S):89-100. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.353476.613>
31. Grishchenko O. V., Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Vereshchagina Y. V., Burkovskaya E. V., Khrolenko Y. A., Grigorchuk V. P., Nakonechnaya O. V., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. Growth of micropropagated *solanum tuberosum* L. plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic led lights. *Horticultural Plant Journal*. 2022;8(2):205-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.04.007>
32. Chen L., Yang Y., Jiang Y., Zhao J., Zang H., Wang X., Hu Yu., Xue X. RNA-Seq Analysis Reveals Differential Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlets Cultured in vitro to Red, Blue, Green, and White Light-emitting Diodes (LEDs). *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38:1412-1427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09944-7>
33. Chen L., Xue X., Yang Y., Chen F., Zhao J., Wang X., Khan A. T., Hu Yu. Effects of red and blue LEDs on *in vitro* growth and microtuberization of potato single-node cuttings. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2018;5(2):197-205. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018224>
34. Vinterhalter D., Vinterhalter B., Orbović V. Photo- and gravitropic bending of potato plantlets obtained in vitro from single-node explants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2012;31(4):560-569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9266-8>
35. Chen L., Zhang K., Gong X., Wang H., Gao Y., Wang X., Zeng Z., Hu Yu. Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets in vitro and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(1):108-119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62633-X)
36. Ma X., Wang Y., Liu M., Xu J., Xu Z. Effects of green and red lights on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulture*. 2015;190:104-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.01.006>
37. Wilson D. A., Weigel R. C., Wheeler R. M., Sager J. C. Light spectral quality effects on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) nodal cuttings in vitro. *In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 1993;29(1):5-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02632231>
38. Jao R. C., Fang W. Growth of potato plantlets in vitro is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods. *HortScience*. 2004;39(2):380-382. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.380>
39. Edesi J., Kotkas K., Pirttilä A. M., Haggman H. Does light spectral quality affect survival and regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) shoot tips after cryopreservation? *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2014;119(3):599-607. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0559-4>

40. Upadhyaya C. P., Pundir R. K., Pathak A., Joshi N., Bagri D. S. Irradiation studies of led light spectra on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Science Today*. 2020;7(3):406-416. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.3.797>
41. Лисина Т. Н., Бурдышева О. В., Шолгин Е. С. Исследование влияния спектрального состава освещения на картофель *in vitro* сортов Невский, Каменский, Удача. *Пермский аграрный вестник*. 2023;2(42):34-42. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_34 EDN: FMKYGQ
42. Толоконцев Д. В., Усков А. И., Тиханова Н. Н., Панкратова А. А. Опыт применения светодиодного освещения при культивировании растений картофеля *in vitro*. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2016;44:223-227. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25647191> EDN: VPGEIF
43. Dmitrieva N. N., Bakunov A. L., Rubtsov S. L. Morphological characteristics of meristem potato plants (*Solanum tuberosum*) under various led light sources. *Research on Crops*. 2021;22(4):888-894. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.145>
44. Мартиросян Ю. Ц., Полякова М. Н., Диловарова Т. А., Кособрюхов А. А. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения. *Сельскохозяйственная биология*. 2013;48(1):107-112. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18791173> EDN: PVFJYF

References

1. Fedorova Yu. N., Lebedeva N. V. The influence of light of different spectral composition on the growth of potato plants *in vitro*. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016;(4):2-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28090733>
2. Varushkina A. M., Lugovskaya N. P., Maksimov A. Yu. The growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in photoculture. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* = Perm Federal Research Centre Journal. 2019;(2):37-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>
3. Khodaeva V. P., Kulikova V. I. Productivity of the original seeds depending on the way of faster propagation of improved potato. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2009;(9):18-19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14451641>
4. Seabrook J. E. A. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro*: A review. *American Journal of Potato Research*. 2005;82:353-367. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02871966>
5. Miyashita Y., Kitaya Y., Kozai T., Kimura T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*: using light emitting diode as a light source for micropropagation. *Acta Horti*. 1995;393(22):189-194. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.393.22>
6. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Sergeeva L. I., Machachkova I., Golyanovskaya S. A. Morphogenesis of Potato Plant *in vitro*. I Effekt of light quality and hormones. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2014;13:143-146. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00196378>
7. Mawphlang O. I. L., Kharshiing E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:01181. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01181>
8. Zakurin A. O., Shchennikova A. V., Kamionskaya A. M. Artificial-light culture in protected ground plant growing: photosynthesis, photomorphogenesis, and prospects of led application. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2020;67(3):413-424. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0015330320030227>
9. Battle M. W., Jones M. A. Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system. *Plant, Cell & Environment*. 2020;43(1):16-27. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13643>
10. Voytsekhovskaya O. V. Phytochromes and other (photo)receptors of information in plants. *Fiziologiya rasteniy*. 2019;66(3):163-177. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0015330319030151>
11. Barsukova E. N., Chibizova A. S. Effect of spectrum of the light-emitting diode lighting upon the process of micropropagation of the virus-free potato plants of different varieties. *Agrarnyy vestnik Primor'ya*. 2019;(1(13)):18-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41297057>
12. Karakaitis D. Y. Technical and economic efficiency of led lights in green crops. *Amazonia Investiga*. 2022;11(53):336-347. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2022.53.05.33>
13. Gomez C., Izzo L. G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. *AIMS Agriculture and Food*. 2018;3(2):135-153. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.2.135>
14. Netesov S. V., Lapshin I. P., Kozlov A. V. The effect of led lamps on plant growth. *Mir Innovatsiy* = World of innovation. 2020;(1):11-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42736453>
15. Bakunov A. L., Dmitrieva N. N., Milekhin A. V., Rubtsov S. L. Optimization of lighting of micro-plants of potatoes *in vitro* using led sources. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(6(92)):85-91. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-85-91>
16. Kozlov A. V., Netesov S. V., Renev N. O. Analysis of indicators of the influence of artificial lighting on the growth and development of meristemic plants *Solanum tuberosum* L. cv. rosara. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;2(88):126-129. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-126-129>
17. Milekhin A. V., Bakunov A. L., Dmitrieva N. N., Rubtsov S. L., Vov-chuk O. A. Izucheniye vliyaniya razlichnykh vidov osveshcheniya na rost i raz-vitie meristemnykh rasteniy kartofelya *in vitro*. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015;17(4-3):578-580. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26143799>

18. Golovatskaya I. F., Dorofeev V. Yu., Medvedeva Yu. V., Nikiforov P. E., Karnachuk R. A. Optimization of illumination conditions in cultivation process of *Solanum tuberosum* L. cv. Lugovskoy microcuttings *in vitro*. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology. 2013;(4(24)):133-144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134451>
19. Varushkina A. M., Yakhina A. I., Shirinkina A. S., Tsema L. G., Latypova A. L. The influence of lighting spectral composition on physiological response of potato *in vitro*. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(4):8-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp8-11>
20. Kononenko A. N. The influence of various light sources on the development of mini-potato plants under light culture conditions. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2016;(45):50-56. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27674970>
21. Nakonechnaya O. V., Subbotin E. P., Grishchenko O. V., Gafitskaya I. V., Orlovskaya I. Yu., Kholin A. S., Goltsova D. O., Subbotina N. I., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. *In vitro* potato plantlet development under different polychromatic led spectra and dynamic illumination. *Botanica Pacifica: a Journal of Plant Science and Conservation*. 2021;10(1):69-74. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2021.10102>
22. Kulchin Yu. N., Nakonechnaya O. V., Gafitskaya I. V., Grishchenko O. V., Epifanova T. Yu., Orlovskaya I. Yu., Zhuravlev Yu. N., Subbotin E. P. Plant morphogenesis under different light intensity. Diffusion and Defect Data. Defect and Diffusion Forum. 2018;386:201-206. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.386.201>
23. Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Grishchenko O. V., Bulgakov V. P., Zhuravlev Y. N., Subbotin E. P., Kulchin Yu. N. Growth of *Solanum tuberosum* plantlets *in vitro* under LED light sources. Proc. SPIE, Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics 2017. 2019:110240E. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2314903>
24. Basiev S. S., Gazdarov M. D., Tamakhina A. Ya., Gazzaev G. T., Abaev A. A. Impact of lighting quality and the nutrient medium composition on the growth and development of potato plants *in vitro*. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Proceedings of Gorsk State Agrarian University. 2022;59(4):18-25. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54258/20701047_2022_59_4_18
25. Chusova N. S., Muratova S. A. Influence of the conditions of cultivation *in vitro* on the efficiency of risogenesis of potato micring growth. *Nauka i Obrazovanie*. 2019;2(2):260. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38578490>
26. Martirosyan Yu. Ts., Dilovarova T. A., Martirosyan V. V., Kreslavskiy V. D., Kosobryukhov A. A. Photosynthetic apparatus of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) grown *in vitro* as influenced by different spectral composition of led radiation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):680-687. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2016.5.680rus>
27. Nikonovich T. V., Shpak M. Yu., Levyy A. V. Influence of the spectral composition of light on the morphophysiological reactions of regenerated *Solanum tuberosum* plants under *in vitro* culture conditions. Biotechnological techniques in the conservation of biodiversity and plant selection: collection of articles. Art. International. scientific conf. Minsk: GNU «Tsentral'nyy botanicheskiy sad NAN Belarusi», 2014. pp. 183-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=zbxvzv>
28. Smolegovets D. V., Anisimov B. V. Innovations in the system of clonal micropropagation of potatoes and cultivation of biotechnological microtubers. *Kartofelevodstvo (rezul'taty issledovaniy, innovatsii, prakticheskiy opyt)*. 2013;(1):304-310. (In Russ.).
29. Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Zhuravlev Yu. N., Kul'chin Yu. N. The influence of artificial sunlight and its intensity on the growth and development of *Solanum tuberosum* regenerants. *Turczaninowia*. 2018;21(2):32-39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.2.4>
30. Develi B. E., Miler N. Impact of Light Quality on *in vitro* Potato Microtubers Formation. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2023;10(S):89-100. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.353476.613>
31. Grishchenko O. V., Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Vereshchagina Y. V., Burkovskaya E. V., Khrolenko Y. A., Grigorchuk V. P., Nakonechnaya O. V., Bulgakov V. P., Kulchin Yu. N. Growth of micropropagated *solanum tuberosum* L. plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic led lights. *Horticultural Plant Journal*. 2022;8(2):205-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.04.007>
32. Chen L., Yang Y., Jiang Y., Zhao J., Zang H., Wang X., Hu Yu., Xue X. RNA-Seq Analysis Reveals Differential Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlets Cultured *in vitro* to Red, Blue, Green, and White Light-emitting Diodes (LEDs). *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38:1412-1427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09944-7>
33. Chen L., Xue X., Yang Y., Chen F., Zhao J., Wang X., Khan A. T., Hu Yu. Effects of red and blue LEDs on *in vitro* growth and microtuberization of potato single-node cuttings. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2018;5(2):197-205. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018224>
34. Vinterhalter D., Vinterhalter B., Orbović V. Photo- and gravitropic bending of potato plantlets obtained *in vitro* from single-node explants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2012;31(4):560-569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9266-8>
35. Chen L., Zhang K., Gong X., Wang H., Gao Y., Wang X., Zeng Z., Hu Yu. Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets *in vitro* and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(1):108-119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62633-X)
36. Ma X., Wang Y., Liu M., Xu J., Xu Z. Effects of green and red lights on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulture*. 2015;190:104-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCIEN.2015.01.006>

37. Wilson D. A., Weigel R. C., Wheeler R. M., Sager J. C. Light spectral quality effects on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) nodal cuttings in vitro. In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 1993;29(1):5-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/bf02632231>
38. Jao R. C., Fang W. Growth of potato plantlets in vitro is different when provided concurrent versus alternating blue and red light photoperiods. HortScience. 2004;39(2):380-382. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.380>
39. Edesi J., Kotkas K., Pirttilä A. M., Haggman H. Does light spectral quality affect survival and regeneration of potato (*Solanum tuberosum* L.) shoot tips after cryopreservation? Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2014;119(3):599-607. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0559-4>
40. Upadhyaya C. P., Pundir R. K., Pathak A., Joshi N., Bagri D. S. Irradiation studies of led light spectra on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Science Today. 2020;7(3):406-416. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.3.797>
41. Lisina T. N., Burdysheva O. V., Sholgin E. S. Research of the effect of light spectral composition on potato plants in vitro of Nevsky, Kamensky, Udacha varieties. Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal. 2023;2(42):34-42. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_42_34
42. Tolokontsev D. V., Uskov A. I., Tikhonova N. N., Pankratova A. A. Experience of using led lighting in cultivation of potato plants in vitro. Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2016;44:223-227. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25647191>
43. Dmitrieva N. N., Bakunov A. L., Rubtsov S. L. Morphological characteristics of meristem potato plants (*Solanum tuberosum*) under various led light sources. Research on Crops. 2021;22(4):888-894. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.145>
44. Martirosyan Yu. Ts., Polyakova M. N., Dilovara T. A., Kosobryukhov A. A. Photosynthesis and productivity of potato plants in the conditions of different spectral irradiation. Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology. 2013;48(1):107-112. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18791173>

Сведения об авторах

✉ **Лисина Татьяна Николаевна**, кандидат биол. наук, зав. лабораторией агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0316-0010>, e-mail: atea2@yandex.ru

Бурдышева Ольга Васильевна, младший научный сотрудник лаборатории агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-4361>

Шолгин Евгений Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8068-8815>

Information about the authors

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

Olga V. Burdysheva, junior researcher, Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-4361>

Evgenii S. Sholgin, junior researcher, the Laboratory of Agrobiophysics, Perm Research Institute of Agriculture – division of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8068-8815>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Клиренс-тесты как метод диагностики патологий гепатобилиарной системы у животных

© 2023. В. С. Понамарёв ✉, О. С. Попова, А. В. Кострова, Л. А. Агафонова
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В современных условиях промышленного сельского хозяйства организм животного работает на пределе своих возможностей, что приводит к дистрофическим болезням различных органов и систем. Разработка эргономичных способов своевременной диагностики данных патологий на ранних стадиях способствует поддержанию количественных и качественных показателей продуктивности животных и продлению времени их хозяйственного использования. Особенно сильной нагрузке подвергается печень с огромным количеством выполняемых ею функций. Цель статьи – обзор имеющихся клиренс-тестов для ранней диагностики патологий гепатобилиарной системы у животных с рассмотрением их преимуществ и недостатков. В результате поиска тематических публикаций в различных библиографических базах отобрано 45 наиболее цитируемых научных статей. В обзоре рассмотрены клиренс-тест с индоцианином зелёным, амидопириновый дыхательный тест, тест элиминации сорбитола, тест элиминации галактозы, фенилаланиновый дыхательный тест и метод гепатобилиарной сцинтиграфии. Функциональные тесты позволяют не только диагностировать и дифференцировать гепатопатологии, но и визуализировать их течение и восстановление печени. В отличие от лабораторных тестов, клиренс-тесты позволяют оценить работу печени в динамике. К недостаткам клиренс-тестов относятся слабая их изученность для массового применения, а также частые случаи индивидуальных отличий в элиминации специфических веществ. Для снижения имеющихся недостатков возможно комбинирование клиренс-тестов с другими лабораторными методами диагностики гепатопатий у животных.

Ключевые слова: гепатопатия, клиренс-тест с индоцианином зелёным, амидопириновый дыхательный тест, тест элиминации сорбитола, тест элиминации галактозы, фенилаланиновый дыхательный тест, метод гепатобилиарной сцинтиграфии

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00011, <https://rscf.ru/project/23-26-00011>

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Понамарёв В. С., Попова О. С., Кострова А. В., Агафонова Л. А. Клиренс-тесты как метод диагностики патологий гепатобилиарной системы у животных. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):924-938. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.924-938>

Поступила: 18.05.2023

Принята к публикации: 02.10.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Clearance tests as a diagnosis method of hepatobiliary system pathologies in animals

© 2023. Vladimir S. Ponomarev ✉, Olga S. Popova, Anastasia V. Kostrova, Lyudmila A. Agafonova

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russian Federation

In present-day conditions of industrial agriculture, the animal's body works at the limit of its capabilities, which leads to degenerative diseases of various organs and systems. The development of ergonomic ways of modern diagnosis of these pathologies at the early stages contributes to the maintenance of quantitative and qualitative indices of productivity of animals and to the extension of the time of their economic use. The liver with a great number of functions performed is subjected to the highest load. The aim of the article is to review the available clearance tests in order to diagnose the pathology of the hepatobiliary system of animals at the early stage, considering advantages and disadvantages of the tests. As the result of the search of themed issues in various bibliographic databases there have been selected 45 mostly cited scientific articles. The article reviews such clearance tests as indocyanine green clearance test, aminopyrine breath test, sorbitol elimination test, galactose elimination test, phenylalanine breath test, and hepatobiliary scintigraphy method. Functional tests allow not only diagnosing and differentiating hepatopathologies, but also visualizing their course and liver recovery. Unlike laboratory tests, clearance tests make it possible to evaluate the work of the liver in dynamics. The disadvantages of clearance tests are lack of information for their wide use and frequency of particular differences in elimination of specific substances. To reduce the proportion of existing shortcomings, it is possible to combine clearance tests with other laboratory methods for diagnosing hepatopathy in animals.

Keywords: hepatopathy, indocyanine green clearance test, aminopyrine breath test, sorbitol elimination test, galactose elimination test, phenylalanine breath test, hepatobiliary scintigraphy method

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-26-00011, <https://rscf.ru/project/23-26-00011>

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

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

For citations: Ponamarev V. S., Popova O. S., Kostrova A. V., Agafonova L. A. Clearance tests as a diagnosis method of hepatobiliary system pathologies in animals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):924-938. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.924-938>

Received: 18.05.2023

Accepted for publication: 02.10.2023

Published online: 20.12.2023

Современные этапы промышленного сельского хозяйства требуют от животных максимальной продуктивности с сохранением нормальной физиологии. Исходя из этого, организм животного работает на пределе своих возможностей, что приводит к дистрофическим болезням различных органов и систем. Такие заболевания носят хронический характер и клинически проявляются не сразу. Разработка эргономичных способов своевременной диагностики данных патологий способствует поддержанию высокой продуктивности животных, сохранению качества и продлению времени их хозяйственного использования¹ [1, 2].

Больше всего от повышенной нагрузки на организм животного страдает система пищеварения. Это происходит из-за того, что для получения больших объемов продукции увеличиваются и объемы дачи высококонцентрированных кормов. Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) крупного рогатого скота физиологически не предназначен для переваривания такого количества концентратов, из-за чего происходят различные отклонения в его работе. Особенно сильной нагрузке подвергается печень с огромным количеством выполняемых ею функций. Но при этом заболевания печени переходят в стадию клинических проявлений, когда уже большая часть органа повреждена [3]. Диагностика патологий гепатобилиарной системы в современной ветеринарии проводится с использованием клинических, инструментальных и лабораторных данных [4, 5].

Лабораторными методами диагностики определяют: наличие гепатобилиарной патологии; локализацию очага поражения в печени; окончательный тип патологии и мониторинг ответа на терапию или прогрессирование заболевания. Лучшим методом определения патологий печени, на данный момент, является биопсия печени [5]. Но данные методы трудоемки, экономически затратны и инвазивны.

Перспективным направлением в диагностике гепатопатий являются клиренс-тесты, которые позволяют быстро и эффективно диагностировать заболевания печени на ранних этапах [5].

Клиренс в медицине (англ. clearance) – скорость очищения плазмы крови, других сред или тканей организма от какого-либо вещества в процессе его биотрансформации, перераспределения в организме и (или) выделения из организма². Клиренс-тест или исследование клиренса применяют в фармакологии и токсикологии для изучения кинетики лекарственных препаратов, в том числе тех, изменение элиминации которых свидетельствует об изменении функции микросомального окисления в печени, а в медицине и ветеринарии – для оценки выделительной и метаболической функции органов, величины регионарного кровообращения, обмена веществ. В клинической практике исследование клиренса наиболее широко применяется для диагностики нарушений функций почек и печени.

Цель статьи – обзор имеющихся клиренс-тестов для ранней диагностики патологий гепатобилиарной системы у животных с рассмотрением их преимуществ и недостатков.

Материал и методы. Поиск и обработка научных публикаций были выполнены согласно рекомендациям Х. Снайдер (H. Snyder) к написанию обзорных статей [6]. На английском и русском языках в библиографических базах (Elibrary, «КиберЛенинка», Pubmed, Scopus (Elsevier), Web of Science (Clarivate)) был осуществлен поиск тематических публикаций по ключевым словам: клиренс-тест с индоцианином зеленым, амидопириновый дыхательный тест, тест элиминации сорбитола, тест элиминации галактозы, фенилаланиновый дыхательный тест, метод гепатобилиарной сцинтиграфии с дальнейшим выделением наиболее цитируемых. Статьи, опубликованные ранее 2013 года, использовали только в случае наличия в них критически важной для раскрытия темы информации, отсутствующей в более поздних публикациях.

Химические формулы рассмотренных соединений приведены согласно систематической номенклатуре ИЮПАК (<https://iupac.org/what-we-do/nomenclature/>).

¹Понамарев В. С. Фармако-токсикологическая оценка комплексного препарата с гепатопротекторной активностью: дис. канд. вет. наук. Санкт-Петербург, 2021. 148 с.

²Петровский Б. В. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ). 3-е изд. М: Советская энциклопедия, 1989. 15912 с.

Основная часть. Динамические клиренс-тесты обеспечивают прямое измерение действительного, функционального состояния печени и позволяют оценить степень гепатобилиарной недостаточности на момент исследования [7, 8]. Животные с патологиями печени могут и не иметь значительного снижения функционального резерва печени, соответственно, и прогностическая ценность отдельных печёночных тестов незначительна. Только динамические или количественные тесты печёночной функции могут выявить функциональную недостаточность и более точно отразить прогноз заболевания.

В качестве тестов количественной оценки функции печени, которые основаны на оценке клиренса различных экзогенных субстанций в современной медицине и ветеринарии используются: амидопириновый дыхательный; элиминации галактозы; фенилаланиновый дыхательный; элиминации сорбитола; на метаболизм лидокаина; клиренс-тест с индоцианином зеленым (ИЦЗ); метод гепатобилиарной сцинтиграфии. Наиболее перспективными признаны клиренс-тесты с ИЦЗ и лидокаином. Результаты этих динамических проб широко используются

гепатологами как неинвазивное определение резервов печени [9].

Дыхательные тесты (амидопириновый и фенилаланиновый) являются одними из первых клиренс-тестов для обнаружения патологии печени [10]. Они основаны на мечении химического вещества ^{13}C изотопом углерода, который метаболизируется и выводится с углекислым газом через дыхательную систему. Выдыхаемый воздух собирается с помощью маски или контейнера. У животных проведение данных тестов ограничено из-за сложности исполнения.

Амидопириновый дыхательный тест – первый из дыхательных тестов, предложенный для оценки функциональной активности гепатоцитов у больных животных с различными видами патологии печени [11].

Механизм его действия заключается в метаболизме 1-фенил-2,3-диметил-4-диметил-аминопиразол-5-она (амидопирин), меченого ^{13}C изотопом углерода, в микросомальной системе печени [12, 13]. Химически амидопирин схож с нестероидными противовоспалительными препаратами фенилбутазон и антипирин (рис. 1).

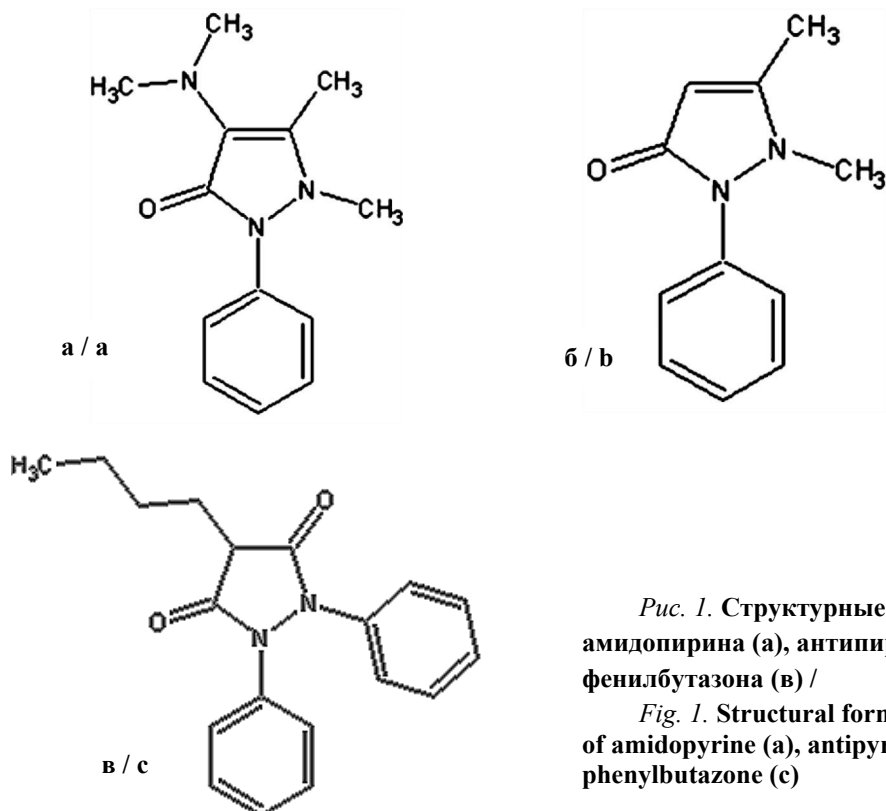


Рис. 1. Структурные формулы амидопирин (а), антипирин (б), фенилбутаона (в) /

Fig. 1. Structural formulas of amidopyrine (a), antipyrine (b), phenylbutazone (c)

После деметилирования амидопирин системой цитохрома Р450 в гепатоцитах образуется формальдегид и 4-аминоантипирин. А формальдегид, окисляясь до бикорбаната,

частично выделяется с выдыхаемым воздухом. Количество $^{13}\text{CO}_2$ в выдыхаемом воздухе сравнивают с количеством ^{13}C изотопа, введенного в организм, и вычисляют процентную дозу [14].

Именно за счет участия системы цитохрома P450 амидопирин возможно использовать для оценки функционального состояния печени.

Также у амидопирина низкая степень печеночной экстракции, что обуславливает способность теста отражать функциональное состояние гепатобилиарной системы, независимо от печёночного кровотока. При этом способность деметилирования амидопирина прямо коррелирует с массой печени.

В гуманной медицине амидопириновый дыхательный тест используют для диагностики острых и хронических гепатитов, циррозов разнообразной этиологии. Также есть предложение использовать данный тест для оценки поражения печени гепатотоксичными лекарственными препаратами. Но у данного теста есть ряд недостатков. По отношению к некоторым поражениям печени (острый и хронический гепатиты и циррозы печени) он дает неспецифичный результат [11].

В ветеринарной медицине амидопириновый тест успешно используют в диагностике патологий гепатобилиарной системы различной этиологии у мелких домашних и экзотических животных. Ранее амидопирин вводили энтерально, но некоторые исследования показывали потерю химического вещества в ЖКТ животных. Д. Кьярамонте, Й. М. Штайнер с соавторами (D. Chiaramonte, J. M. Steiner et al.) было предложено внутривенное введение

амидопирина [14]. Также для упрощения теста у животных сейчас возможно проводить анализ крови, а не выдыхаемого воздуха. Этот тест основывается на реакции деметилирования.

У собак повышение уровня деметилирования амидопирина свидетельствует о повышении активности печеночных ферментов. Причиной активизации данных ферментов может быть терапия фенobarбиталом. При использовании данного метода лечения применение амидопиринового теста даст ложно завышенный результат. Сходная картина может наблюдаться при использовании глюкокортикостероидов или болезнь Кушинга у собак. При тяжелых формах гепатопатологии (тяжелый гранулематозный гепатит, генерализованный гепатоцеллюлярный холестаз) уровень метаболизма амидопирина может снижаться более чем на 60 % относительно нормального [14].

Тест элиминации галактозы. Галактоза – один из простых сахаров, моносахарид из группы гексоз, изомер глюкозы (рис. 2). Входит в состав многих полисахаридов, в том числе лактозы. 90 % галактозы метаболизируется и экскретируется организмом через гепатобилиарную систему [15, 16]. В печени галактоза проходит стадию фосфорилирования с помощью фермента галактокиназы, превращаясь в глюкозо-1-фосфат. Именно уровень данной реакции анализируется с помощью теста элиминации галактозы.

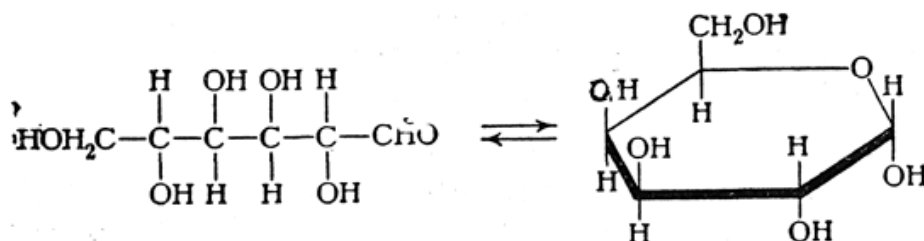


Рис. 2. Линейная и циклическая структурные формулы галактозы /

Fig. 2. Linear and cyclic structural formulas of galactose

В ходе теста происходит исследование плазмы крови или мочи спектрофотометрическим методом. В основе лабораторного анализа лежит реакция галактозы и никотинамидадениндинуклеотида (НАД) с образованием галактолактона и НАДН [16]. Также есть способ обнаружения галактозы с использованием фотоэлектроколориметра и орцинового реактива и последующим диск-электрофорезом³. Метод основывается на том, что освобожденная от белка галактоза взаимодействует с орциновым реак-

тивом, и окрашивает раствор в розовый цвет, интенсивность которого показывает концентрацию гексоз. Сыворотку крови сначала обрабатывают 96° этанолом для осаждения белков, затем центрифугируют и к осадку добавляют орциновый реактив (смесь серной кислоты и орцина). Полученный раствор выдерживают в термостате при 80 °С и далее помещают в лед. После этого проводят фотоэлектроколориметрию с зеленым светофильтром, результат сравнивают с контрольной пробой⁴.

³Колб В. Г., Камышников В. С. Справочник по клинической химии. 2-е изд., перераб. и доп. Мн.: Беларусь, 1982. 366 с.

⁴Там же.

Далее для дифференциации концентрации маннозы и галактозы есть два способа – определение содержания гликопротеидов маннозы с помощью триптофана; либо диск-электрофорез. Реакция с триптофаном проводится с помощью фотоэлектроколориметра. Для данного метода используют этиловый спирт для осаждения белковых фракций, борно-серный раствор для гидролиза гликопротеина и усиления окраски раствора, раствор триптофана. Метод диск-электрофореза позволяет разделить все белковые фракции сыворотки крови на разные слои. Это происходит благодаря буферам разного состава, различными показателями pH и размерами пор. Ход работы состоит из 6 шагов: приготовление геля; нанесение сыворотки крови; собственно электрофорез; извлечение колонок геля; окрашивание белковых фракций с использованием амидового черного; количественное определение отдельных фракций проводят оптическими методами – прямой денситометрией или денситометрией фотоснимков⁵.

Данный клиренс-тест позволяет оценивать функциональную активность печени, метаболическую способность гепатоцитов, а также детоксикационную функцию печени. Снижение данного показателя свидетельствует о недостаточности гепатобилиарной системы. Такие

показатели возможны при острой печеночной недостаточности, хронических заболеваниях печени и после хирургических операций на печени [17]. Тест используют для оценки эффективности лечения и контроля метаболизма препаратов, которые активно выводятся через печень (промазин, цефопиразон) [15, 18]. Высокий коэффициент экстракции делает ферментирование галактозы процессом, независимым от кровотока печени и ее функциональной массы.

Для получения максимально достоверного значения элиминации галактозы её используют в относительно больших дозах для реализации максимального количества ферментов. Еще одним недостатком теста является необходимость проводить неоднократный отбор крови для визуализации снижения концентрации галактозы в плазме. Также данный клиренс-тест не дает характеристику регионального повреждения печени [17].

При проведении теста на крысах было выявлено две фазы метаболизма галактозы: быстрого распределения и элиминации. В ходе моделирования гепатопатий у крыс подтвердилась эффективность теста элиминации галактозы: показатель в опытной группе был в 1,6 раза выше. Отсутствовала корреляция между уровнем элиминации галактозы и АСТ и АЛТ (рис. 3) [15].

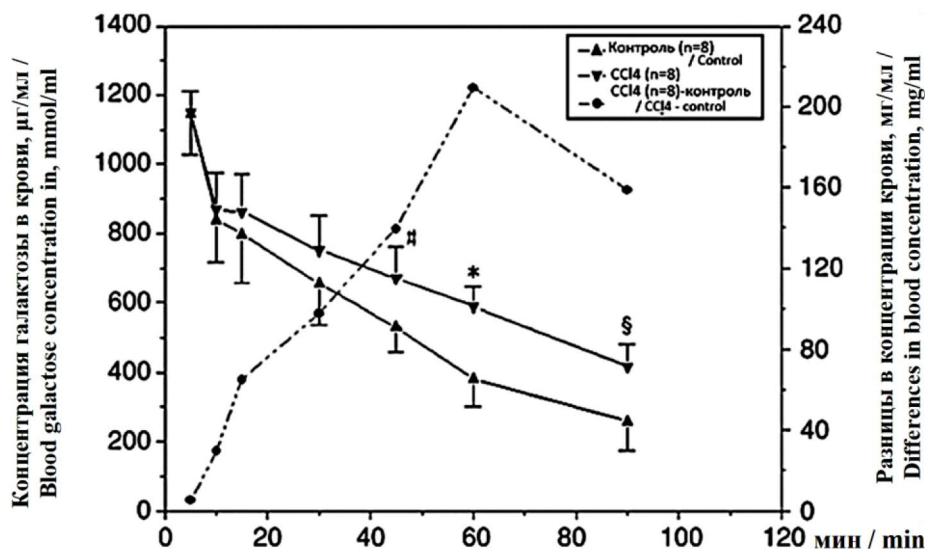


Рис. 3. Среднее значение ($\pm$ SD) зависимости концентрации галактозы в венозной крови от времени после быстрой внутривенной инъекции 0,5 г/кг галактозы контрольным крысам ($n = 8$) и крысам, получавшим четыреххлористый углерод (CCl_4) для моделирования гепатопатии ($n = 8$). Различия концентраций галактозы в крови через 45, 60 и 90 минут после инфузии демонстрируют очень значимые различия между этими двумя группами. CCl_4 достиг пика на 60 минуте и уменьшился на 90 минуте (* $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,005$) [15]

Fig. 3. Mean ($\pm$ SD) time dependence of galactose concentration in venous blood after a rapid intravenous injection of 0.5 g/kg galactose in control rats ($n = 8$) and rats treated with carbon tetrachloride (CCl_4) to simulate hepatopathy ($n = 8$). Differences in blood galactose concentrations at 45, 60 and 90 minutes post-infusion demonstrate very significant differences between the two groups. CCl_4 peaked at 60 minutes and decreased at 90 minutes (* $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, § $P < 0,005$) [15]

⁵Колб В. Г., Камышников В. С. Указ. соч.

Фенилаланиновый дыхательный тест – впервые использовали в 1997 году для определения функциональной способности гепатоцитов у пациентов с терминальной стадией гепатопатии [19]. Тест имеет ту же основу, что и амидопириновый: введение вещества с меченым C^{13} изотопом, и дальнейшая его регистрация в выдыхаемом воздухе. Биохимическая база состоит в способности клеток печени окислять фенилаланин (рис. 4).

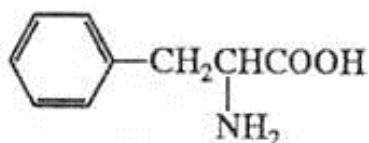


Рис. 4. Структурная формула фенилаланина /
Fig. 4. Structural formula of phenylalanine

Фенилаланин окисляется до тирозина и под действием тирозин-аминотрансферазы превращается в гидроксифенилпировиноградную кислоту, которая превращается в гомогентизиновую с образованием CO_2 [19, 20]. Окисление самого фенилаланина проходит за счет специального фермента фенилаланин-гидроксилазы. Данный фермент в организме находится исключительно в гепатоцитах, благодаря чему фенилаланиновый тест обладает высокой специфичностью. По мнению некоторых исследователей, данный тест является лучшей альтернативой амидопириновому, так как он безопаснее и не имеет побочных эффектов [11].

При моделировании острой гепатопатологии на крысах было показано, что скорость экскреции C^{13} снижалась у животных опытной группы, за счет снижения общей активности фенилаланин гидроксилазы [19].

С использованием фенилаланинового теста возможно проводить дифференциальную диагностику между хроническим гепатитом и ранними стадиями жирового гепатоза печени, определять тяжесть поражения печени, при этом отличаясь от других методов диагностики простотой и неинвазивностью. Также клиренс-тест позволяет определить дисфункцию гепатобилиарной системы, связанной с механической желтухой [20].

Тест элиминации сорбитола. Сорбитол или сорбит – шестиатомный спирт, обладающий сладким вкусом (рис. 5). Является распространенным сахарозаменителем и подсластителем. В организме сорбитол метаболизируется за счет уровня сорбитолдегидрогеназы, специ-

ального фермента, депонирующегося в печени [21, 22, 23]. Этот фермент катализирует реакцию сорбитол с НАД, превращая их во фруктозу и НАДН [24]. Обычно уровень сорбитолдегидрогеназы коррелирует с уровнями АЛТ и АСТ [25].

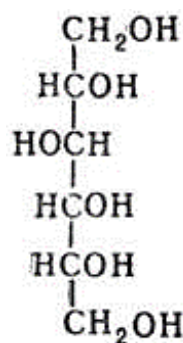


Рис. 5. Структурная формула сорбита /
Fig. 5. Sorbitol structural formula

Тест элиминации сорбитола является хорошим показателем гепатоцеллюлярного заболевания, который увеличивается при умеренном и тяжелом внутри- и внепеченочном холестазах. В качестве исследуемой пробы можно отбирать и кровь, и мочу. Определение сорбитола в биоматериале проводят с помощью метода спектрофотометрии. Существуют разные способы проведения данного исследования [26, 27, 28]. Согласно одному из методов, плазму крови сначала необходимо депротеинизировать с использованием хлорной кислоты. Далее пробу центрифугировали для получения супернатанта, и его последующей нейтрализации K_2CO_3 . Затем проводят второе центрифугирование и к надосадочной жидкости добавляют фосфатный буфер (pH 9,5), сорбитолдегидрогеназу и никотинамидадениндинуклеотид. Полученный раствор оставляют при 20 °C на 1 час, и после этого проводят спектрофотометрию с чистым раствором буфера в качестве контроля [28].

Существует метод Коркорана и Пейджа с модификацией [27, 28]. Для проведения данного метода необходимы: периодат калия в серной кислоте; хлорид олова в соляной кислоте; хромотроповая кислота в серной кислоте; серная кислота. Пробу сначала консервируют бензойной кислотой. Все реактивы добавляют к пробе в определенной последовательности – сначала добавляют реактив периодической кислоты, содержимое немедленно и тщательно перемешивают палочкой и оставляют на 8 минут. Последующие этапы процедуры должны выполняться без перерыва или задержки. Через 8 минут

добавляют реагент хлорида олова, снова хорошо перемешивают реакционную смесь и помещают на баню с холодной водой. Затем прибавляют реактив хромотроповой кислоты и перемешивают содержимое. Пробу с палочкой для перемешивания погружают в кипящую водяную баню на 30 минут. После извлечения и охлаждения добавляют серную кислоту, содержимое тщательно перемешивают и удаляют палочки для перемешивания. Полученный раствор считают на спектрофотометре относительно дистиллированной воды. При использовании этого метода цвет и плотность раствора стабильны и сохраняются неизменными в течение нескольких часов [27, 28].

Тест можно использовать для диагностики жировой дистрофии печени, в том числе вызванной дефицитом холина, а также при нарушении окислительно-восстановительных процессов в печени [29, 30]. Данный тест позволяет оценить печеночный кровоток [30].

Недостатком теста является короткий период полураспада сорбитолдегидрогеназы и необходимость проведения теста в течение 6 часов после взятия образца.

Тест на метаболизм лидокаина. Лидокаиновый тест (MEGX-моноэтилглицинксилидид) для оценки функциональных резервов печени используется с 1995 года, как простой динамический тест для оценки тяжести хронического заболевания печени [9, 31].

В крови лидокаин находится в трех состояниях: свободный, связанный с альбумином и связанный с α -1-кислым гликопротеином. Лидокаин метаболизируется в печени. Около 60 % дозы подвергается N-деалкилированию в системе цитохрома P450 с помощью ферментов CYP3A4 и CYP1A2 с образованием моноэтилглицинксилидида и глицинксилидида (рис. 6)⁶ [32]. Лидокаин не токсичен для организма в используемых дозах, имеет короткий период полувыведения и высокий коэффициент экстракции печени, что выгодно отличает его от других клиренс-тестов [31, 33].

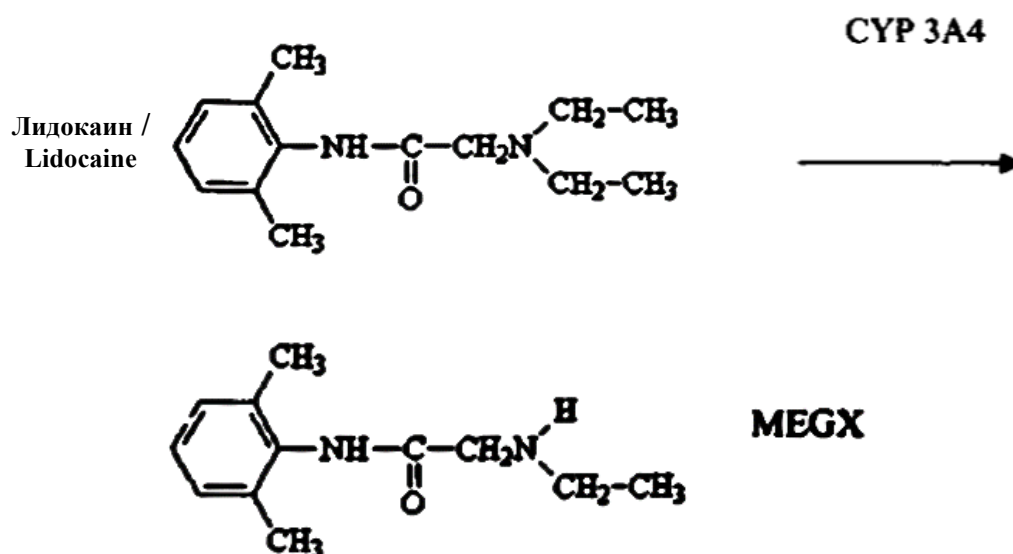


Рис. 6. Структура лидокаина и MEGX-моноэтилглицинксилидита⁷ /
Fig. 6. Lidocaine and MEGX-monoethylglycine xylidite structure⁷

MEGX определяют флуорометрическим методом после экстракции его из плазмы крови⁸. Экстракция MEGX проходит с использованием боратного буфера (pH 9,5) и дихлорметана. Далее раствор подвергают дериватизации для получения производного MEGX-NBD (рис. 7). Дериватизацию проводят с 4-фтор-7-нитробензофуразаном (NBD-F)⁹. Затем 50 мкл раствора подвергают хроматографии. Время выхода MEGX 8,2±0,3 минуты,

ватизации для получения производного MEGX-NBD (рис. 7). Дериватизацию проводят с 4-фтор-7-нитробензофуразаном (NBD-F)⁹. Затем 50 мкл раствора подвергают хроматографии. Время выхода MEGX 8,2±0,3 минуты,

⁶Раменская Г. В. Высокоэффективная жидкостная хроматография в оценке биотрансформации лекарственных средств (фармакогенетика и фармакокинетика): дис... д-ра фарм. наук. М., 2005. 355 с.

⁷Там же.

⁸Там же.

⁹Там же.

внутреннего стандарта 12,3±0,3 минуты¹⁰. Количественное определение MEGX проводят методом внутреннего стандарта. Согласно этому методу, калибровочный график строят

по отношению площади пика MEGX с пиком внутреннего стандарта в пробе при разных концентрациях¹¹.

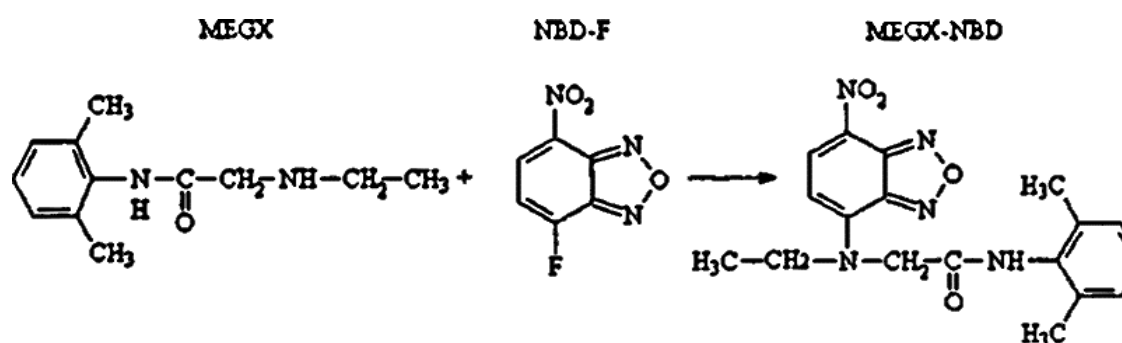


Рис. 7. Дериватизация MEGX с NBD-F¹² /
Fig. 7. Derivatization of MEGX with NBD-F¹²

Использование теста необходимо для дифференциации жировой дистрофии печени от её нормального состояния, а также прогнозирования её течения. Различие между разными гепатопатиями не так заметно при анализе теста. Лидокаиновый тест способен определить детоксикационную функцию печени [16]. Данный тест успешно используют для прогнозирования и диагностики животных с портосистемным шунтом [33]. Печень может повреждаться и вторично при различных заболеваниях. Имеется исследование по проведению лидокаинового теста на крысах с моделированным сахарным диабетом. Полученные результаты указывают на нарушение гепатобилиарной системы и увеличение времени элиминации метаболитов лидокаина [32].

На концентрацию MEGX влияет уровень кровотока, рацион кормления (особенно белки). При печеночной дисфункции период полувыведения лидокаина повышается в 2 раза и более [16]. В исследованиях на собаках не была выявлена корреляция результатов теста с полом, возрастом и кормлением животных. Сообщается, что MEGX является стабильным метаболитом, так как несколько циклов замораживания-оттаивания и хранение при температуре

-20 °C в течение 8 месяцев существенно не изменили концентрацию [33].

Для дальнейшего исследования актуальным считается изучение показателей клиренс-теста в зависимости от долей фракции лидокаина в крови [33].

Клиренс-тест с индоцианином зеленым (ИЦЗ). Индоцианин зеленый является диагностическим флуоресцентным красителем (рис. 8) [34].

ИЦЗ не проникает в ткани органов организма, 95 % связывается с β-аполипопротеином В и выводится из организма не метаболизируясь [35, 36]. Выведения ИЦЗ из плазмы крови проходит в две фазы. Нормальный период полувыведения ИЦЗ у лошадей составляет <3,7 мин, у коз – 2,13±0,19 мин, у овец – ≤4 мин. Клиренс с ИЦЗ дольше у телят (5-15 мин), чем у взрослого крупного рогатого скота (≤5 мин) [37]. Выводится практически всё вещество (70-90 %) [9] клетками паренхимы печени со скоростью около 0,1 мг/мин/кг с желчью в неметаболизированном, несвязанном виде через желчевыводящие пути АТФ-зависимой транспортной системой. Максимальная концентрация в желчи наблюдается через 0,5-2 часа после введения и зависит от количества введенного индоцианина зеленого^{13, 14}.

¹⁰Раменская Г. В. Указ. соч.

¹¹Там же.

¹²Там же.

¹³Индоцианин Зеленый-Пульсион (Indocyanine Zelenyi-Pulsion) инструкция по применению. VIDAL: справочник лекарственных средств. [Электронный ресурс].

URL: https://www.vidal.ru/drugs/indocyanine_zelenyi-pulsion_38661 (дата обращения: 02.03.2023).

¹⁴Кулябина Т. В. Процессы окрашивания биологических объектов растворами индоцианина зеленого. Автореф. дис... канд. физ.-матем. наук. Саратов, 2007.18 с.

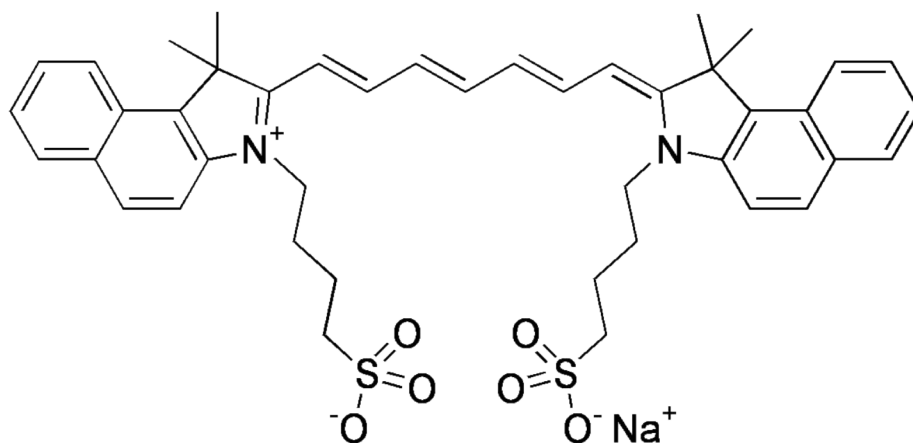


Рис. 8. Структурная формула индоцианина зеленого /

Fig. 8. Indocyanine green structural formula

В гуманной и ветеринарной медицине клиренс-тест с ИЦЗ проводится для измерения кровотока в печени, ее экскреторной (детоксикационной) функции и энергетический статус. Тест используют для диагностики и мониторинга хронической печеночной недостаточности, дисфункции печени, с возможностью наблюдения за восстановлением органа.

Стандартным методом количественного определения клиренса с ИЦЗ в печени является фотометрический анализ *ex vivo* последовательных образцов крови, полученных в течение 15 мин после внутривенной однократной инъекции [16]. Существует метод флуоресцентной томографии с ИЦЗ, который позволяет наблюдать за процессами в гепатобилиарной системе в режиме реального времени, но имеет ряд недостатков – невозможно определить границы пораженных отделов, и некоторые аппараты не могут идентифицировать ИЦЗ в организме. Есть показатели, которые возможно регистрировать при использовании ИЦЗ: скорость плазменной элиминации ИЦЗ; уровень остаточной концентрации индоцианина в плазме через 15 минут после введения диагностического красителя; при наличии данных о минутном объеме кровообращения – клиренс красителя и объем циркулирующей крови [38].

Гипербилирубинемия, снижение печеночного кровотока и значительный холестаз могут ложно удлинять клиренс с ИЦЗ, а гипоальбуминемия может ложно укорачивать его. Клиренс с ИЦЗ у коз чаще всего затягивается генерализованным липидозом печени, вторичным по отношению к токсикозу беременных. Сообщается, что определение времени клиренса с ИЦЗ, а не периода полувыведения, более полезно для выявления заболеваний печени.

Время клиренса с ИЦЗ у здоровых накормленных и 3-дневных голодающих лошадей составляет 10 и 6 мл/мин/кг соответственно [37].

По данным исследований, выявлена корреляция скорости плазменной элиминации ИЦЗ с уровнем общего билирубина, уровнем альбумина, протромбиновым индексом, международным нормализованным отношением и индексом гистологической активности некро-воспалительного процесса в печени [38]. Результат клиренс-теста с ИЦЗ также зависит от времени кормления животного. Период полувыведения ИЦЗ значительно укорачивается при проведении теста после кормления. Это связано с усилением кровотока печени после кормления. Соответственно, и продолжительное голодание искажает результаты клиренс-теста. При 4-дневном голодании было выявлено значительное удлинение периода полувыведения ИЦЗ [39].

Метод гепатобилиарной сцинтиграфии. Динамическая сцинтиграфия гепатобилиарной системы является высокоинформативным методом в выявлении патологий. Этот малоинвазивный метод диагностики является физиологичным и практически не имеет противопоказаний.

Томографическое исследование печени позволяет оценивать форму, размеры, положение органа относительно стандартных топографических ориентиров, количество функционально сохранных клеток ретикулоэндотелия печени, а также распределение накопления препарата в ткани печени при различных заболеваниях (хронические гепатиты, циррозы и т.д.).

Динамическое радиологическое обследование позволяет выполнить диагностику [37, 40, 41]:

- воспалительных и обменных заболеваний печени, желчного пузыря;
- непроходимости желчевыводящих путей, ЖКБ;
- функциональных расстройств желчного пузыря;
- воспаления желчевыводящих путей, кист желчных протоков;
- аномалии и пороки развития желчевыводящей системы, абдоминального синдрома неясной этиологии.

В ветеринарии крупных животных данная процедура затруднена по причине малой доступности специальных томографов соответствующих размеров. Но имеются данные по гепатобилиарной сцинтиграфии у свиней, жеребят, ягнят, мелких домашних и лабораторных животных [37, 40, 41].

С помощью данного метода, возможно оценивать 3 категории параметров [42] прохождения радиологического препарата (РП):

- из крови в гепатоциты;
- из гепатоцита в желчный пузырь;
- из желчного пузыря в тонкую кишку.

В качестве РП чаще всего используют вещества ^{99m}Tc -меброфенин и ^{99m}Tc -дизофенин, которые попадают в печень в связанном с белками состоянии. Эта связь легко разрушается в пространстве Диссе. Далее молекулы препарата связываются с рецепторами на мембране гепатоцитов и поглощаются гепатоцитами через независимый от натрия переносчик, выделяясь в желчный пузырь в нативном состоянии [41].

Необходимо оценивать весь путь прохождения РП в организме, так как при различных заболеваниях изменяются разные параметры. Во время сцинтиграфии регистрируют следующие показатели: вымывание РП из сердца, время максимального накопления РП в печени, вымывание РП из печени, появление РП в желчном пузыре, регистрация РП в тонком кишечнике. Также возможна визуализация размеров печени. У кошек за физиологическую норму приняты следующие цифры: вымывание РП из сердца – менее 2 мин, время максимального накопления РП в печени – менее 5 мин, вымывание РП из печени – до 30 мин, появление РП в желчном пузыре – 5 мин, регистрация РП в тонком кишечнике – 8 мин (через 3 мин после появления в желчном пузыре) [40]. У собак измеряли период полувыведения

препарата из печени – 16-19 мин, регистрация в желчном пузыре через 15-20 мин, а в кишечнике через 1 час [41].

Первичная гепатопатология (увеличение АЛТ, АСТ, щелочной фосфатазы, билирубина) на сцинтиграфии определяется увеличением сердечного вымывания и длительной установки максимальной концентрации в печени, при этом появление РП в желчном пузыре и тонком кишечнике остается в норме. Первичный внутрипеченочный холестаз характеризуется нормальным или увеличенным установлением максимальной концентрации в печени и идентификацией в желчном пузыре. Смешанная гепатоцеллюлярная дисфункция и внутрипеченочный холестаз характеризовались задержкой сердечного и печеночного вымывания, установкой максимальной концентрации и первой идентификацией в желчном пузыре. Внепеченочная обструкция характеризуется отсутствием идентификации желчного пузыря и тонкого кишечника [40].

Также было замечено, что у животных с гепатопатиями есть тенденция к перераспределению РП в другие ткани организма, например легкие [41].

У лошадей возможно использование РП в качестве клиренс-теста для диагностики гепатопатий [41]. Этот метод включает сбор нескольких образцов крови каждые 15 минут с момента введения определяемого препарата в течение 240 минут после внутривенного введения радиофармацевтического препарата. И затем строят кривую экскреции препарата из крови. С помощью данного метода возможна диагностика гипербилирубинемии, связанной с анорексией, у лошадей [41].

Заключение. Функциональные тесты позволяют не только диагностировать и дифференцировать гепатопатологии, но и визуализировать их течение и восстановление печени. В отличие от лабораторных тестов, клиренс-тесты позволяют оценить работу печени в динамике. В настоящее время исследователями ведутся перспективные разработки новых химических соединений-кандидатов (в отношении использования их фармакокинетических свойств), скорость элиминации которых может рассматриваться как специфический показатель функционального состояния печени, в том числе и при патологиях, что подтверждает перспективность данного научного направления.

Эти диагностические подходы также имеют определённые недостатки. К ним относятся: малый объём проведённых исследований на животных для статистически подтверждённых гипотез, сложность в проведении подобных исследований, необходимость специальной аппаратуры и т. д.

Для исключения вышеперечисленных минусов в литературе есть результаты комбинирования клиренс-тестов с различными

балльными шкалами для создания комплексной прогностической системы с целью повышения их прогностической ценности и точности [43, 44, 45]. В настоящее время активно изучаются корреляционные взаимосвязи между так называемыми «классическими» диагностическими показателями функционального состояния печени и результатами клиренс-тестов для повышения достоверности при их использовании.

Список литературы

1. Кириллов А. А., Юшманов П. Н., Батраков А. Я. Этиология, распространение и экономический ущерб при заболеваниях печени у коров. *Международный вестник ветеринарии*. 2015;(1):7-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23371673> EDN: RSHTIM
2. Курдеко А. П. Распространение и клиничко-гематологическая характеристика гепатоза у высокопродуктивных коров. *Международный вестник ветеринарии*. 2016;(3):133-138. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26740177> EDN: WNEATL
3. Алехин Ю. Н., Понамарев В. С., Попова О. С. Патогенетические основы сочетанного применения лекарственных препаратов групп гепатопротекторов и фитосорбентов. *Международный вестник ветеринарии*. 2022;(2):47-52. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.2.47> EDN: HXQRWN
4. Морозова Т. Г., Борсуков А. В. Применение комплексной эластографии печени в рамках мультипараметрического ультразвукового исследования. *Лучевая диагностика и терапия*. 2017;(2(8)):78. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29752360> EDN: ZBBVRJ
5. Попова О. С., Понамарёв В. С., Кострова А. В., Агафонова Л. А. Обзор современных методов диагностики заболеваний гептобилиарной системы. *Международный вестник ветеринарии*. 2023;(1):113-122. DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.1.113> EDN: PLXLNR
6. Snyder H. Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*. 2019;104:333-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
7. Краснов О. А., Павленко В. В., Краснов А. О. Клиническая и прогностическая значимость критериев оценки функциональных резервов печени при заболеваниях печени и выполнении ее резекции. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2014;17(4):66-77. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23093702> EDN: TLJIVB
8. Мнацаканян М. К., Рубцова Н. А., Хамидов Д. Х., Петров Л. О., Сидоров Д. В., Каприн А. Д. Методы предоперационного прогнозирования пострезекционной печеночной недостаточности. *Онкология. Журнал им. П. А. Герцена*. 2022;11(5):70-77. DOI: <https://doi.org/10.17116/onkolog20221105170> EDN: URIYBA
9. Краснов О. А., Павленко В. В., Краснов К. А., Краснов А. О., Пельц В. А., Старцев А. Б., Аминов И. Х., Сохарев А. С., Керопян С. Е. Современные методы оценки функционального резерва печени в резекционной хирургии органа. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2014;(6):37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22955500> EDN: TIISKL
10. Рапопорт С. И., Шубина Н. А. Дыхательные тесты в диагностике заболеваний печени. *Клиническая медицина*. 2016;94(12):885-892. DOI: <https://doi.org/10.18821/0023-2149-2016-94-12-885-892> EDN: XVHVDJ
11. Кулаль Мохамад Эль Хаули. Дыхательные тесты в оценке функции печени. *Крымский терапевтический журнал*. 2006;(1):25-35. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dyhatelnye-testy-v-otsenke-funktsii-pecheni>
12. Медведев Ю. В., Бакулин И. Г., Немцова Е. Г., Сайганов С. А., Бакулина Н. В. Инновации в применении ¹³C-метацетинового дыхательного теста для оценки степени фиброза печени. *Доктор.Ру*. 2019;8(163):6-12. DOI: <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-163-8-6-12> EDN: FQINDH
13. Бакулин И. Г., Медведев Ю. В. ¹³C-метацетиновый дыхательный тест при оценке функционального резерва печени. *Фарматека*. 2016;(S5):71-80. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28155411> EDN: XSDGEF
14. Chiaramonte D., Steiner J. M., Broussard J. D., Baer K., Gumming S., Moeller E. M., Williams D. A., Shumway R. Use of a ¹³C-aminopyrine blood test: first clinical impressions. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 2003;67(3):183-188. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12889723/>
15. Young T. H., Tang H. S., Chao Y. C., Lee H. S., Hsiung C. H., Pao L. H., Hu O. Y. Quantitative rat liver function test by galactose single point method. *Laboratory Animals*. 2008;42(4):495-504. DOI: <https://doi.org/10.1258/la.2007.06040e>
16. Родимова С. А., Кузнецова Д. С., Бобров Н. В., Вдовина Н. В., Загайнов В. Е., Загайнова Е. В. Современные методы оценки восстановительного потенциала печени после ее резекции (обзор). *Современные технологии в медицине*. 2019;11(4):175-190. DOI: <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.4.20> EDN: DKGPL0
17. Sørensen M. Determination of hepatic galactose elimination capacity using 2-[¹⁸F]fluoro-2-deoxy-D-galactose PET/CT: reproducibility of the method and metabolic heterogeneity in a normal pig liver model. *Scandinavian Journal Gastroenterology*. 2011;46(1):98-103. DOI: <https://doi.org/10.3109/00365521.2010.510574>

18. Munk D. E., Björklund J., Lund Laursen T., Vilstrup H., Ott P., Grønbaek H., Damgaard Sandahl T. The galactose elimination capacity test to monitor liver disease course in patients with Wilson's disease. *Scandinavian Journal Gastroenterology*. 2022;57(5):589-594. DOI: <https://doi.org/10.1080/00365521.2021.2024248>
19. Yan W. L., Sun D. Y., Lin X. T., Jiang Y. B., Sun X. L. [1-13C] phenylalanine breath test results reflect the activity of phenylalanine hydroxylase in carbon tetrachloride acute injured rat liver. *Life Sciences*. 2006;78(8):838-843. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.05.073>
20. Aoki M., Ishii Y., Ito A., Khono T., Takayama T. Phenylalanine breath test as a method to evaluate hepatic dysfunction in obstructive jaundice. *Journal of Surgical Research*. 2006;130(1):119-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2005.08.015>
21. Петрович Ю. А., Воложин А. И., Зубцов В. А., Трусова Н. Ф., Киченко С. М. К механизму повышения активности сорбитолдегидрогеназы сыворотки крови и печени крыс при избытке сахарозаменителя сорбитола в пище. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2007;(1):4-6.
22. Петрович Ю. А., Воложин А. И., Зубцов В. А., Киченко С. М. Влияние повышенного количества сорбитола и сахарозы в пище на активность ферментов и массу печени крыс в разные сезоны года. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2007;(2):14-16.
23. Петрович Ю. А., Воложин А. И., Зубцов В. А., Киченко С. М. Биоритмы активности дегидрогеназ печени, крови и изменения массы тела крыс при обычном корме и при избытке сахарозаменителей. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2007;144(12):686-690.
24. Satué K., Gardon J. C., Muñoz A. Use of Laboratory Testing to Diagnose Liver and Biliary Dysfunction in the Horse. *Journal of Gastroenterology and Hepatology Research*. 2013;2(10):807-813. URL: <http://www.ghrnet.org/index.php/joghr/article/view/504>
25. Zijlstra M., Greig D., Rios C., van den Broek J., Rothuizen J., Gulland F. Sorbitol Dehydrogenase (SDH) as a Predictor of Hepatocellular Damage in Three Species of Pinnipeds. *IAAAM*. 2010. URL: <https://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?id=4473863&pid=11307>
26. Clemmesen J. O., Tygstrup N., Ott P. Hepatic plasma flow estimated according to fick's principle in patients with hepatic encephalopathy: Evaluation of indocyanine green and d-sorbitol as test substances. *Hepatology*. 1998;27(3):666-673. DOI: <https://doi.org/10.1002/hep.510270305>
27. West C. D., Rapoport S. Modification of Colorimetric Method for Determination of Mannitol and Sorbitol in Plasma and Urine. *Experimental Biology and Medicine*. 1949;70(1):141-142. DOI: <https://doi.org/10.3181/00379727-70-16853>
28. Corcoran A. C., Page I. H. A method for the determination of mannitol in plasma and urine. *Journal of Biological Chemistry*. 1947;5(1):130.
29. Hillbom M. E., Pikkarainen P. H. Rates of Elimination of Sorbitol and Ethanol in the Choline-Deficient Fatty Liver. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1971;28(3):267-270. DOI: <https://doi.org/10.3109/00365517109095699>
30. Li Y. M., Lv F., Xu X., Ji H., Gao W. T., Lei T. J., Ren G. B., Bai Z. L., Li Q. Evaluation of liver functional reserve by combining D-sorbitol clearance rate and CT measured liver volume. *World Journal of Gastroenterology*. 2003;9(9):2092-2095. DOI: <https://doi.org/10.3748/wjg.v9.i9.2092>
31. Neumann S., Frenz M., Streit F., Oellerich M. Formation of monoethylglycinexylidide (MEGX) in clinically healthy dogs. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 2011;75(4):317-320. URL: https://www.researchgate.net/publication/223980704_Formation_of_monoethylglycinexylidide_MEGX_in_clinically_healthy_dogs
32. Gawrońska-Szklarz B., Musiał D. H., Pawlik A., Paprota B. Effect of experimental diabetes on pharmacokinetic parameters of lidocaine and MEGX in rats. *Polish Journal of Pharmacology*. 2003;55(4):619-624.
33. Devriendt N., Serrano G., Croubels S., Stock E., Vadermeulen E., Paep D., von Luckner J., de Rooster H. Evaluation of serum lidocaine/monoethylglycinexylidide concentration to assess shunt closure in dogs with extrahepatic portosystemic shunts. *Journal Veterinary Internal Medicine*. 2021;35(4):261-268. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvim.16030>
34. Фаррахова Д. С., Романишкин И. Д., Яковлев Д. В., Маклыгина Ю. С., Олейников В. А., Федотов П. В., Кравчик М. В., Бездетная Л., Лощенов В. Б. Взаимосвязь спектроскопических и структурных свойств j-агрегатов индоцианина зеленого. *Biomedical Photonics*. 2022;11(3):4-16. DOI: <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2022-11-3-4-16> EDN: WTIEBJ
35. Кондратенко Т. С., Гревцева И. Г., Чевычелова Т. А., Овчинников О. В. Нелинейно-оптические свойства Индоцианина зеленого. *Енисейская фотоника-2022: тез. докл. Т. 2*. Красноярск: ИФ СО РАН, 2022. С. 116-117.
36. Панченков Д. Н., Иванов Ю. В., Тупикин К. А., Астахов Д. А., Лискевич Р. В. Интраоперационная визуализация желчных протоков с помощью индоцианина зеленого при лапароскопической холецистэктомии. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019;24(4):131-138. DOI: <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138> EDN: IBCVIQ
37. Foreman J. H. Overview of Hepatic Disease in Large Animals. *MSD MANUAL*. 2023. URL: <https://www.msdsvet-manual.com/digestive-system/hepatic-disease-in-large-animals/overview-of-hepatic-disease-in-large-animals#v3265327>
38. Дзидзава И. И., Котив Б. Н., Кашкин Д. П., Смородский А. В., Слободяник А. В. Клиренс-тест с индоциановым зелёным как прогностический фактор риска для выживаемости у больных циррозом печени с синдромом портальной гипертензии. *Новости хирургии*. 2010;18(5):37-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17818843> EDN: OZYEJD
39. Ono M., Ohtaki T., Tanemura K., Ishii M., Tsumagari S. Relationship between indocyanine green clearance test and feed intake and impaired hepatic function in dairy cows. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2011;73(11):1497-1479. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.11-0161>

40. Newell S. M., Selcer B. A., Roberts R. E., Cornelius L. M., Mahaffey E. A. Hepatobiliary Scintigraphy in the Evaluation of Feline Liver Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 1996;10(5):308-315.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1996.tb02068.x>
41. Morandi F. Liver scintigraphy in veterinary medicine. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2014;44(1):15-23.
DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2013.08.002>
42. Head L. L., Daniel G. B. Correlation between hepatobiliary scintigraphy and surgery or postmortem examination findings in dogs and cats with extrahepatic biliary obstruction, partial obstruction, or patency of the biliary system: 18 cases (1995-2004). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2005;227(10):1618-1624.
DOI: <https://doi.org/10.2460/javma.2005.227.1618>
43. Oellerich M., Burdelski M., Lautz H. U., Rodeck B., Duewel J., Schulz M., Schmidt F. W., Brodehl J., Pichlmayr R. Assessment of pretransplant prognosis in patients with cirrhosis. *Transplantation*. 1991;51(4):801-806.
DOI: <https://doi.org/10.1097/00007890-199104000-00013>
44. Gindro T., Arrigoni A., Martinasso G., Rosina F., Perardi S., Cappello N., Benedetti P., Actis G. C., Verme G., Rizzetto M. Monoethyl glycine xylidide (MEGX) test evaluation in primary biliary cirrhosis: comparison with Mayo score. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*. 1997;9(12):1155-1159.
URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9471020/>
45. Testa R., Valente U., Risso D., Cagliaris S., Giannini E., Fasoli A., Botta F., Dardano G., Lantieri P. B., Celle G. Can the MEGX test and serum bile acids improve the prognostic ability of Child-Pugh's score in liver cirrhosis? *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*. 1999;11(5):559-564. DOI: <https://doi.org/10.1097/00042737-199905000-00016>

References

1. Kirillov A. A., Yushmanov P. N., Batrakov A. Ya. Etiology, prevalence and economic damage at liver disease in cows. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii* = International Bulletin of Veterinary Medicine. 2015;(1):7-12. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23371673>
2. Kurdeko A. P. Distribution and clinical-hematologic characteristics of hepatitis at highly productive cows. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii* = International Bulletin of Veterinary Medicine. 2016;(3):133-138. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26740177>
3. Alekhin Yu. N., Ponamarev V. S., Popova O. S. Pathogenetic bases of the combined use of drugs from the groups of hepatoprotectors and phytosorbents. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii* = International Journal of Veterinary Medicine. 2022;(2):47-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.2.47>
4. Morozova T. G., Borsukov A. V. The use of complex liver elastography within multiparametric ultrasound. *Luchevaya diagnostika i terapiya* = Diagnostic radiology and radiotherapy. 2017;(2(8)):78. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29752360>
5. Popova O. S., Ponamarev V. S., Kostrova A. V., Agafonova L. A. Use of modern methods for diagnostics of diseases of the hepatobiliary system. *Mezhdunarodnyy vestnik veterinarii* = International Journal of Veterinary Medicine. 2023;(1):113-122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.1.113>
6. Snyder H. Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*. 2019;104:333-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
7. Krasnov O. A., Pavlenko V. V., Krasnov A. O. Clinical and prognostic significance of liver functional reserves evaluation criteria for liver diseases and resections. *Voprosy rekonstruktivnoy i plasticheskoy khirurgii* = Issues of Reconstructive and Plastic Surgery. 2014;17(4):66-77. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23093702>
8. Mnatsakanyan M. K., Rubtsova N. A., Khamidov D. Kh., Petrov L. O., Sidorov D. V., Kaprin A. D. Methods for preoperative prediction of postresection hepatic failure. *Onkologiya. Zhurnal im. P. A. Gertsena* = P. A. Herzen Journal of Oncology. 2022;11(5):70-77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17116/onkolog20221105170>
9. Krasnov O. A., Pavlenko V. V., Krasnov K. A., Krasnov A. O., Peltc V. A., Startcev A. B., Aminov I. Kh., Sokharev A. S., Keropian S. E. Modern methods on assessment of functional reserve of liver in resection surgery. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2014;(6):37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22955500>
10. Rapoport S. I., Shubina N. A. Respiratory tests in diagnostics of renal diseases. *Klinicheskaya meditsina* = Clinical Medicine (Russian Journal). 2016;94(12):885-892. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18821/0023-2149-2016-94-12-885-892>
11. Koulal Mohamad El Hawly. Breath tests in liver function assessment. *Krymskiy terapevticheskiy zhurnal* = Crimean Journal of Internal Diseases. 2006;(1):25-35. (In Russ.).
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dyhatelnye-testy-v-otsenke-funktsii-pecheni>
12. Medvedev Yu. V., Bakulin I. G., Nemtsova E. G., Sayganov S. A., Bakulina N. V. Innovative use of ¹³C-methacetin breathing test to assess the rate of hepatic fibrosis. *Doktor.Ru* = Doctor.ru. 2019;8(163):6-12. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-163-8-6-12>
13. Bakulin I. G., Medvedev Yu. V. ¹³C methacetin breath test for the evaluation of liver functional reserves. *Farmateka*. 2016;(S5):71-80. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28155411>
14. Chiaramonte D., Steiner J. M., Broussard J. D., Baer K., Gumming S., Moeller E. M., Williams D. A., Shumway R. Use of a ¹³C-aminopyrine blood test: first clinical impressions. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 2003;67(3):183-188. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12889723/>
15. Young T. H., Tang H. S., Chao Y. C., Lee H. S., Hsiong C. H., Pao L. H., Hu O. Y. Quantitative rat liver function test by galactose single point method. *Laboratory Animals*. 2008;42(4):495-504.
DOI: <https://doi.org/10.1258/la.2007.06040e>

16. Rodimova S. A., Kuznetsova D. S., Bobrov N. V., Vdovina N. V., Zagainov V. E., Zagaynova E. V. Modern Methods for Assessing the Regenerative Potential of the Liver after Partial Hepatectomy (Review). *Sovremennye tehnologii v medicine* = Modern technologies in medicine. 2019;11(4):175-190. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.4.20>
17. Sørensen M. Determination of hepatic galactose elimination capacity using 2-[¹⁸F]fluoro-2-deoxy-D-galactose PET/CT: reproducibility of the method and metabolic heterogeneity in a normal pig liver model. *Scandinavian Journal Gastroenterology*. 2011;46(1):98-103. DOI: <https://doi.org/10.3109/00365521.2010.510574>
18. Munk D. E., Björklund J., Lund Laursen T., Vilstrup H., Ott P., Grønbaek H., Damgaard Sandahl T. The galactose elimination capacity test to monitor liver disease course in patients with Wilson's disease. *Scandinavian Journal Gastroenterology*. 2022;57(5):589-594. DOI: <https://doi.org/10.1080/00365521.2021.2024248>
19. Yan W. L., Sun D. Y., Lin X. T., Jiang Y. B., Sun X. L. [1-¹³C] phenylalanine breath test results reflect the activity of phenylalanine hydroxylase in carbon tetrachloride acute injured rat liver. *Life Sciences*. 2006;78(8):838-843. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.05.073>
20. Aoki M., Ishii Y., Ito A., Khono T., Takayama T. Phenylalanine breath test as a method to evaluate hepatic dysfunction in obstructive jaundice. *Journal of Surgical Research*. 2006;130(1):119-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2005.08.015>
21. Petrovich Yu. A., Volozhin A. I., Zubtsov V. A., Trusova N. F., Kichenko S. M. To the mechanism of enhancing the activity of serum and hepatic sorbitol dehydrogenase in rats fed excess sweetener sorbitol. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya* = Pathological physiology and experimental therapy. 2007;(1):4-6. (In Russ.).
22. Petrovich Yu. A., Volozhin A. I., Zubtsov V. A., Kichenko S. M. Effects of high quantities of sorbitol and saccharose in the diet on enzymes activity and liver mass in rats in different seasons of the year. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya* = Pathological physiology and experimental therapy. 2007;(2):14-16. (In Russ.).
23. Petrovich Yu. A., Volozhin A. I., Zubtsov V. A., Kichenko S. M. Biorhythms of activities of liver and blood dehydrogenases and changes in body weight of the rats feeding normal diet or excess of sugar substitutes. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* = Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2007;144(12):686-690. (In Russ.).
24. Satué K., Gardon J. C., Muñoz A. Use of Laboratory Testing to Diagnose Liver and Biliary Dysfunction in the Horse. *Journal of Gastroenterology and Hepatology Research*. 2013;2(10):807-813. URL: <http://www.ghrnet.org/index.php/joghr/article/view/504>
25. Zijlstra M., Greig D., Rios C., van den Broek J., Rothuizen J., Gulland F. Sorbitol Dehydrogenase (SDH) as a Predictor of Hepatocellular Damage in Three Species of Pinnipeds. IAAAM. 2010. URL: <https://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?id=4473863&pid=11307>
26. Clemmesen J. O., Tygstrup N., Ott P. Hepatic plasma flow estimated according to fick's principle in patients with hepatic encephalopathy: Evaluation of indocyanine green and d-sorbitol as test substances. *Hepatology*. 1998;27(3):666-673. DOI: <https://doi.org/10.1002/hep.510270305>
27. West C. D., Rapoport S. Modification of Colorimetric Method for Determination of Mannitol and Sorbitol in Plasma and Urine. *Experimental Biology and Medicine*. 1949;70(1):141-142. DOI: <https://doi.org/10.3181/00379727-70-16853>
28. Corcoran A. C., Page I. H. A method for the determination of mannitol in plasma and urine. *Journal of Biological Chemistry*. 1947;5(1):130.
29. Hillbom M. E., Pikkarainen P. H. Rates of Elimination of Sorbitol and Ethanol in the Choline-Deficient Fatty Liver. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1971;28(3):267-270. DOI: <https://doi.org/10.3109/00365517109095699>
30. Li Y. M., Lv F., Xu X., Ji H., Gao W. T., Lei T. J., Ren G. B., Bai Z. L., Li Q. Evaluation of liver functional reserve by combining D-sorbitol clearance rate and CT measured liver volume. *World Journal of Gastroenterology*. 2003;9(9):2092-2095. DOI: <https://doi.org/10.3748/wjg.v9.i9.2092>
31. Neumann S., Frenz M., Streit F., Oellerich M. Formation of monoethylglycinexylidide (MEGX) in clinically healthy dogs. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 2011;75(4):317-320. URL: https://www.researchgate.net/publication/223980704_Formation_of_monoethylglycinexylidide_MEGX_in_clinically_healthy_dogs
32. Gawrońska-Szklarz B., Musiał D. H., Pawlik A., Paprota B. Effect of experimental diabetes on pharmacokinetic parameters of lidocaine and MEGX in rats. *Polish Journal of Pharmacology*. 2003;55(4):619-624.
33. Devriendt N., Serrano G., Croubels S., Stock E., Vadermeulen E., Paepe D., von Luckner J., de Rooster H. Evaluation of serum lidocaine/monoethylglycinexylidide concentration to assess shunt closure in dogs with extrahepatic portosystemic shunts. *Journal Veterinary Internal Medicine*. 2021;35(4):261-268. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvim.16030>
34. Farrakhova D. S., Romanishkin I. D., Yakovlev D. V., Maklygina Yu. S., Oleynikov V. A., Fedotov P. V., Kravchik M. V., Bezdetnaya L., Loshchenov V. B. Correlation of spectroscopic and structural properties of indocyanine green j-aggregates. *Biomedical Photonics*. 2022;11(3):4-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2022-11-3-4-16>
35. Kondratenko T. S., Grevtseva I. G., Chevychelova T. A., Ovchinnikov O. V. Nonlinear optical properties of indocyanine green. *Yenisei Photonics-2022: abstracts of reports. Vol. 2. Krasnoyarsk: IF SO RAN, 2022. pp. 116-117.*
36. Panchenkov D. N., Ivanov Yu. V., Tupikin K. A., Astakhov D. A., Liskevich R. V. Fluorescent imaging with indocyanine green for intraoperative bilie ducts examination during laparoscopic cholecystectomy. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii* = Annals of HPB Surgery. 2019;24(4):131-138. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20194131-138>
37. Foreman J. H. Overview of Hepatic Disease in Large Animals. MSD MANUAL. 2023. URL: <https://www.msdsvet-manual.com/digestive-system/hepatic-disease-in-large-animals/overview-of-hepatic-disease-in-large-animals#v3265327>
38. Dzidzava I. I., Kotiv B. N., Kashkin D. P., Smorodskiy A. V., Slobodyanik A. V. Indocyanine green clearance test as a prognostic risk factor for survival in cirrhotic patients with portal hypertension syndrome. *Novosti khirurgii*. 2010;18(5):37-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17818843>

39. Ono M., Ohtaki T., Tanemura K., Ishii M., Tsumagari S. Relationship between indocyanine green clearance test and feed intake and impaired hepatic function in dairy cows. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2011;73(11):1497-1479. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.11-0161>
40. Newell S. M., Selcer B. A., Roberts R. E., Cornelius L. M., Mahaffey E. A. Hepatobiliary Scintigraphy in the Evaluation of Feline Liver Disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 1996;10(5):308-315. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1996.tb02068.x>
41. Morandi F. Liver scintigraphy in veterinary medicine. *Seminars in Nuclear Medicine*. 2014;44(1):15-23. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2013.08.002>
42. Head L. L., Daniel G. B. Correlation between hepatobiliary scintigraphy and surgery or postmortem examination findings in dogs and cats with extrahepatic biliary obstruction, partial obstruction, or patency of the biliary system: 18 cases (1995-2004). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2005;227(10):1618-1624. DOI: <https://doi.org/10.2460/javma.2005.227.1618>
43. Oellerich M., Burdelski M., Lautz H. U., Rodeck B., Duewel J., Schulz M., Schmidt F. W., Brodehl J., Pichlmayr R. Assessment of pretransplant prognosis in patients with cirrhosis. *Transplantation*. 1991;51(4):801-806. DOI: <https://doi.org/10.1097/00007890-199104000-00013>
44. Gindro T., Arrigoni A., Martinasso G., Rosina F., Perardi S., Cappello N., Benedetti P., Actis G. C., Verme G., Rizzetto M. Monoethyl glycine xylidide (MEGX) test evaluation in primary biliary cirrhosis: comparison with Mayo score. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*. 1997;9(12):1155-1159. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9471020/>
45. Testa R., Valente U., Risso D., Cagliaris S., Giannini E., Fasoli A., Botta F., Dardano G., Lantieri P. B., Celle G. Can the MEGX test and serum bile acids improve the prognostic ability of Child-Pugh's score in liver cirrhosis? *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*. 1999;11(5):559-564. DOI: <https://doi.org/10.1097/00042737-199905000-00016>

Сведения об авторах

✉ **Понамарёв Владимир Сергеевич**, кандидат вет. наук, ассистент кафедры фармакологии и токсикологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», Черниговская ул., д. 5, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6852-3110>, e-mail: psevdopyos@mail.ru

Попова Ольга Сергеевна, кандидат вет. наук, доцент, доцент кафедры фармакологии и токсикологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», Черниговская ул., д. 5, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0650-0837>

Кострова Анастасия Викторовна, аспирант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», Черниговская ул., д. 5, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru

Агафонова Людмила Александровна, студент 5 курса факультета ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», Черниговская ул., д. 5, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru

Information about the authors

✉ **Vladimir S. Ponamarev**, PhD in Veterinary Science, Assistant at the Department of Pharmacology and Toxicology, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint-Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6852-3110>, e-mail: psevdopyos@mail.ru

Olga S. Popova, PhD in Veterinary Science, associate professor, associate professor at the Department of Pharmacology and Toxicology, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint-Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0650-0837>

Anastasia V. Kostrova, post-graduate student, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint-Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru

Lyudmila A. Agafonova, 5th year student, the Faculty of Veterinary Medicine, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint-Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: secretary@spbguvm.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.939-948>

УДК 633.16:631.526.32



Новый сорт ярового ячменя Боярин и элементы сортовой технологии

© 2023. И. Н. Щенникова[✉], Т. К. Шешегова, О. М. Снигирева

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

Создание сорта ярового ячменя Боярин осуществлялось в 2008...2022 гг., совершенствование сортовой агротехники – в 2021...2022 гг. в почвенно-климатических условиях Кировской области. Сорт ярового ячменя Боярин характеризуется высокой урожайностью (до 6,15 т/га в 2017 г.), в отдельные годы превышающей стандарт Белгородский 100 (на 0,9 т/га в 2018 г.). Сорт среднеранний, продолжительность вегетационного периода от 76 до 97 дней; формирует высокопродуктивный стеблестой (390 шт/м²) за счет хорошей выживаемости и кустистости растений (2,0 шт/раст.), имеет прочную соломинку и характеризуется высокой устойчивостью к полеганию (5,0 баллов). Масса 1000 зерен – до 47 г, натура – до 683 г/л, содержание белка в зерне – до 12,2 %. По качеству зерна относится к сортам зернофуражного использования. С 2023 г. сорт Боярин включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Волго-Вятском регионе. В статье приводится схема создания нового сорта ярового ячменя Боярин и его хозяйственно-биологическая характеристика. При разработке элементов сортовой технологии испытывали новые биоудобрения (Азолен, Азотовит, Фосфатовит, Калийвит, Нитрозлак) и биофунгициды (Псевдобактерин, Флавобактерин, Алирин), которые применяли для обработки семян и растений в фазы «кущение» и «колошение». В относительно засушливых условиях вегетации (ГТК = 1,23) не получено статистически значимых прибавок урожайности от применения всех изучаемых препаратов. При избыточном увлажнении в период вегетации растений (ГТК = 2,20) относительно высокие прибавки урожайности (1,31–1,58 т/га при НСР₀₅ = 0,50) получены в вариантах с использованием биоудобрений Фосфатовит (обработка семян), Азотовит (обработка растений в фазу «колошение») и Калийвит (обработка растений в фазу «кущение»). Лучшую биологическую защиту от корневых гнилей на уровне 60,5 % обеспечила обработка семян биоудобрением Нитрозлак, который является не только азотфиксатором и фосфатмобилизатором, но и содержит бинарную смесь микроорганизмов – антагонистов фитопатогенов.

Ключевые слова: урожайность, элементы продуктивности, биоудобрения, биопрепараты, грибные болезни, биологическая эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Щенникова И. Н., Шешегова Т. К., Снигирева О. М. Новый сорт ярового ячменя Боярин и элементы сортовой технологии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):939-948.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.939-948>

Поступила: 22.12.2022

Принята к публикации: 15.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

A new variety of spring barley Boyarin and elements of varietal technology

© 2023. Irina N. Schennikova[✉], Tatyana K. Sheshegova, Olga M. Snigireva

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

The development of the Boyarin spring barley variety was carried out in 2008–2022, the improvement of varietal agricultural technology – in 2021–2022 in the soil and climatic conditions of the Kirov region. The Boyarin spring barley variety is characterized by a high yield (up to 6.15 t/ha in 2017), in some years exceeding the Belgorod 100 standard (by 0.9 t/ha in 2018). The variety is medium-early, the duration of the growing season is from 76 to 97 days; forms a highly productive stem (390 pcs/m²) due to good survival and bushiness of plants (2.0 pcs/plant), has a strong straw and is characterized by high resistance to lodging (5.0 points). The weight of 1000 grains is up to 47 g, the nature is up to 683 g/l, the protein content in the grain is up to 12.2 %. According to the quality of grain, it belongs to the varieties of grain-forage use. Since 2023, the Boyarin variety has been included in the State Register of Breeding Achievements Approved for Use in the Volga-Vyatka region. The article provides a scheme for creating a new variety of spring barley Boyarin and its economic and biological characteristics. When developing elements of varietal technology, new biofertilizers (Azolene, Azotovite, Phosphatovite, Kalivite, Nitroslak) and

biofungicides (Pseudobacterin, Flavobacterin, Alirin) were tested, which were used to treat seeds and plants in the "tillering" and "earring" phases. In relatively arid vegetation conditions ($HTC = 1.23$), no statistically significant yield increases were obtained from the use of all the studied preparations. With excessive moisture during the growing season of plants ($HTC = 2.20$) relatively high yield increases ($1.31-1.58$ t/ha with $LSD_{05} = 0.50$) were obtained in variants using biofertilizers Phosphatovite (seed treatment), Azotovite (plant treatment in the "earring" phase) and Kaliivit (treatment of plants in the "tillering" phase). The best biological protection against root rot at the level of 60.5 % was provided by the treatment of seeds with Nitroslak biofertilizer, which is not only a nitrogen fixator and phosphate immobilizer, but it also contains a binary mixture of microorganisms antagonists of phytopathogens.

Keywords: yield, productivity elements, biofertilizers, biological products, fungal diseases, biological efficiency

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0007).

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

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

For citation: Schennikova I. N., Sheshegova T. K., Snigireva O. M. A new variety of spring barley Boyarin and elements of varietal technology. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):939-948. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.939-948>

Received: 22.12.2022

Accepted for publication: 15.11.2023

Published online: 20.12.2023

Яровой ячмень – важнейшая зернофуражная культура, составляющая значительный удельный вес в структуре посевных площадей и имеющая наиболее высокий потенциал продуктивности в условиях Волго-Вятского региона¹. В связи с этим решение региональных проблем при создании новых сортов ячменя и реализация их потенциала при совершенствовании агротехнических приемов возделывания на сегодняшний день являются наиболее актуальными [1]. Ученые-селекционеры отмечают [2, 3, 4], что в современных селекционных программах основные усилия необходимо направить на создание адаптивных форм растений, способных формировать экономически значимую урожайность при нестабильности агроклиматических ресурсов. В условиях многообразия почвенно-климатических факторов и экономических возможностей конкретных регионов направления селекции в научных учреждениях и, соответственно, хозяйственно-биологическая характеристика новых сортов ярового ячменя могут значительно отличаться [5, 6, 7]. Например, сорта ячменя, которые создаются в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, высокоадаптивны и приспособлены к специфическим условиям Волго-Вятского региона [8].

При этом сельскохозяйственное производство региона заинтересовано в оптимизации технологических процессов, поиске экологически безопасных и экономически оправданных элементов технологий возделывания всех зерновых культур. В последнее время активизируются исследования по обеспечению коммер-

ческих перспектив производства зерна, основанные на стратегии сдерживания возбудителей болезней за счет активизации использования биоагентов различной природы [9, 10]. Современная концепция экологичности, ресурсосбережения и реализации продукционного потенциала сорта отдает предпочтение использованию в агротехнологиях биоудобрений и биопрепаратов с фиторегуляторными, фунгицидными и иммуномодулирующими свойствами [9]. Биоагентами таких пестицидов и агрохимикатов являются биологические фиксаторы азота, калия и фосфора, различные представители микрофлоры и другие полезные микроскопические организмы². Они используются для предпосевной обработки семян и вегетирующих растений в разные фазы онтогенеза [11, 12]. Далее изучается характер растительно-микробных взаимодействий с аборигенной семенной, аэрогенной и почвенной микрофлорой, анализируются особенности онтогенеза и продукционного процесса растений в этих условиях. В случае положительного результата по болезнеустойчивости и продуктивности растений использование новых биопрепаратов и агрохимикатов является экологически и экономически обоснованным способом повышения урожайности и качества зерновых культур.

Цель исследований – хозяйственно-биологическая характеристика нового сорта ярового ячменя Боярин и совершенствование элементов сортовой технологии на основе применения биоудобрений и биофунгицидов.

¹В Кировской области рекордная урожайность зерновых. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.kirovreg.ru/news/detail.php?ID=111643> (дата обращения: 14.04.2023)

²Шабает В. П. Бактерии могут заменить минеральные удобрения. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.argo-shop.com.ua/article-7780.html?ysclid=ldy6p6k7is172067961> (дата обращения: 20.01.2023).

Научная новизна – получены экспериментальные данные по эффективности использования экологических биоудобрений и биофунгицидов с фиторегуляторными, фунгицидными и иммуномодулирующими свойствами при возделывании нового сорта ярового ячменя Боярин.

Материал и методы. Исследования по созданию сорта ярового ячменя Боярин и разработке отдельных элементов технологии его возделывания проведены ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в 2008-2022 гг. Основным методом селекции ячменя является внутривидовая гибридизация с последующим индивидуальным отбором во втором поколении и оценкой потомства выделенных генотипов по комплексу селекционно-ценных признаков. Селекционный материал изучали по принятой для самоопылителей схеме в соответствии с методикой³. В качестве стандарта использовали рекомендованный Государственной комиссией по сортоиспытанию сорт Белгородский 100. Изучение в конкурсном сортоиспытании (2017-2019 гг.) проводили на делянках с учетной площадью 10 м², в 4-кратной повторности.

Посевы располагали в селекционном севообороте (предшественник – чистый пар). Почва опытных участков дерново-подзолистая, среднесуглинистая (гумус – 2,27-2,45 %, рН_{сол} – 4,6-5,5, Р₂O₅ – 257-290 мг/кг, К₂O – 232-257 мг/кг), типичная для Кировской области. Основную и предпосевную обработки почвы проводили в соответствии с зональными рекомендациями; посев – в оптимально ранние сроки, минеральные удобрения вносили в дозе N₄₅P₄₅K₄₅.

Почвенно-климатические условия в годы изучения элементов сортовой технологии способствовали реализации потенциальных возможностей нового сорта ячменя Боярин. В 2021 г. вегетация ячменя проходила преимущественно в условиях сухой и теплой, а в отдельные периоды жаркой погоды (ГТК = 1,23). К концу вегетационного периода сумма эффективных температур составила 1207,2 °С и спровоцировала засуху, которая привела к значительному снижению продуктивности растений и урожайности сорта Боярин. Более благоприятные условия для роста и развития растений сложились в 2022 г. (ГТК = 2,20; сумма эффективных температур 938,9 °С).

Опыт включал 20 вариантов обработки семян и вегетирующих растений ячменя сорта

Боярин изучаемыми биоудобрениями и биофунгицидами (контроль – вариант без обработок).

Материалом исследований являлись: биофунгициды – Псевдобактерин, Ж (*Pseudomonas aureofaciens*, BS 1393), Флавобактерин, Ж (*Flavobacterium* sp. L-30), Алирин, Ж (*Bacillus subtilis* штамм В-10 ВИЗР); *микробиологические удобрения* – Азолен, Ж (*Azotobacter vinelandii*, ИБ-4), Азотовит, Ж (*Azotobacter croococcum*), Фосфатовит, Ж (*Bacillus mucilaginosus*, Вас 10), Калийвит, Ж (*Paebacillus mucilaginosus*), Нитрозлак, Ж (*Agrobacterium radiobacter* + *Bacillus megaterium*). Биоудобрения применяли для обработки семян и вегетирующих растений, биофунгициды – для обработки семян. Нормы расхода препаратов взяты в соответствии с рекомендуемыми⁴.

Биофунгициды Алирин, Псевдобактерин, Флавобактерин характеризуются не только фунгицидными, но и иммуномодулирующими и фиторегуляторными свойствами, обеспечивая хорошее развитие вегетативной массы и корневой системы растений, устойчивость к полеганию и улучшение продукционного процесса; способствуют экологичности производства зерна [13, 14].

Биоудобрения Азолен, Азотовит, Фосфатовит, Калийвит, Нитрозлак за счет лучшего использования растениями минеральных и органических веществ обеспечивают их дополнительными элементами питания и участвуют в формировании плодородного слоя почвы; их иммуномодулирующие и фунгицидные свойства обеспечивают контроль некоторых грибных и бактериальных болезней [15, 16].

Изучение данных пестицидов и агрохимикатов проводили в полевом опыте на делянках площадью 2,7 м² в 4-кратной повторности. Норма высева – 6 млн всхожих зерен на гектар. Почва в опыте дерново-подзолистая, среднесуглинистая (содержание гумуса – 2,43 %, подвижного фосфора – 360 мг/кг, обменного калия – 210 мг/кг почвы, рН солевой вытяжки – 5,7). Обработка почвы под яровой ячмень включала в себя отвальную вспашку (ПЛН-3-35), культивацию (КПС-4), боронование (СГ-8), прикатывание (КЗК-6) и посев по чистому пару.

Учет пятнистостей грибной этиологии проводили однократно – в период наибольшего их развития, корневых гнилей – три раза за вегетацию, приурочивая к фазам «выход в трубку», «колошение», «восковая спелость».

³Методика Госкомиссии по испытанию сельскохозяйственных культур. М.: Калининская областная типография, 1985. 389 с.

⁴Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть 1. Пестициды. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2021. 803 с.

Далее рассчитывали относительный показатель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), и по скорости нарастания инфекции анализировали характер растительно-микробных взаимодействий в вариантах опыта. В иммунологических исследованиях использовали методики⁵.

В работе применяли статистические методы в изложении Б. А. Доспехова⁶. Обработка данных проведена с использованием пакета программ статистического и биометрико-гене-

тического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel 2013.

Результаты и их обсуждение. Сорт ярового ячменя Боярин (селекционный номер 346-09) создан методом внутривидовой ступенчатой гибридизации с использованием коллекционных образцов (рис.) и последующим индивидуальным отбором во втором поколении.

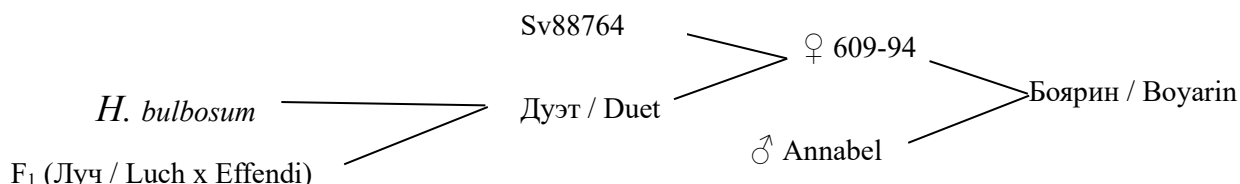


Рис. Генеалогия сорта ячменя Боярин /
Fig. Genealogy of the Boyarin barley variety

На первом этапе селекции была проведена комплексная оценка коллекционных образцов и выделены источники, отвечающие цели исследований. Сорта Sv 88764 (Швеция) и Дуэт, созданный методом гаплоидии (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров), характеризуются как высокоурожаемые и толерантные к стрессовым факторам кислых дерново-подзолистых почв [17]. Полученную в результате скрещивания линию 609-94 в 2007 г. использовали в гибридизации с высокоурожаемым, устойчивым к полеганию, отличающимся хорошим качеством зерна сортом Annabel (Германия).

Морфологическое описание сорта. Разновидность *nutans*. Форма куста в период кушения полупрямостоячая. Опушение листовых влагалищ нижних листьев отсутствует, имеется слабая антоциановая окраска ушек и стеблевых узлов. Встречаемость растений с наклоненным флажковым листом средняя. Соломина прочная поляя, средней толщины (диаметр нижнего междоузлия составляет в среднем 24 мм). Колос двурядный, цилиндрической формы, со средним восковым налетом, средней длины (7-9 см) и плотности (13 члеников колосового стержня на 4 см в средней части колоса), соломенно-желтый. Положение колоса в фазу полного колошения – горизонтальное. Ости длинные,

зазубренные, с антоциановой окраской кончиков от средней до сильной интенсивности.

Хозяйственные и биологические свойства сорта. В питомнике конкурсного испытания (2016-2019 гг.) сорт Боярин формировал урожайность до 6,15 т/га (2017 г.), превышая стандарт Белгородский 100 в отдельные годы на 0,9 т/га (2018 г.). В засушливом 2016 г. урожайность его составляла 2,58 т/га при 2,10 т/га у стандарта. Новый сорт – среднеранний при продолжительности вегетационного периода от 76 до 97 дней; формирует высокопродуктивный стеблестой (390 шт/м²) за счет хорошей выживаемости и кустистости растений (2,0 шт/раст.), имеет прочную соломину и характеризуется высокой устойчивостью к полеганию (5,0 баллов). Масса 1000 зерен – до 47 г, натура – до 683 г/л, содержание белка в зерне – до 12,2 %. По качеству зерна относится к сортам зернофуражного использования.

По данным ФГБУ «Госсорткомиссия»⁷, урожайность сорта Боярин по Волго-Вятскому региону в 2021-2022 гг. составила в среднем 3,96 т/га. В Нижегородской области она была на уровне 3,53 т/га, в Свердловской области – 4,57 т/га, что выше по отношению к стандарту на 0,27 и 0,37 т/га соответственно. Максимальная урожайность (6,52 т/га) получена в Пермском

⁵Johnson D. F., Wilcoxson R. D. A table of areas under disease progress curves. Technical Bulletin, Texas Agriculture Experiment Station. Texas. 1981;137:2-10; Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л., 1976. 60 с.; Родина Н. А., Ефремова З. Г. Методические рекомендации по селекции ячменя на устойчивость к болезням и их применение в НИИСХ Северо-Востока. М., 1986. 79 с.; Афанасенко О. С. Устойчивость ячменя к гемибитрофным патогенам. Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР, 2005. С. 592-609.

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. 415 с.

⁷Ячмень яровой Боярин. [Электронный ресурс]. URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/7953317/> (дата обращения: 14.04.2023).

крае в 2022 году. Оценка экономической эффективности возделывания нового сорта показала, что себестоимость производства зерна составила на 8,6 % меньше, а чистого дохода получили на 18 % больше, чем у стандартного сорта при одинаковых затратах на 1 га.

По результатам испытаний сорт ярового ячменя Боярин с 2023 г. включен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию по Волго-Вятскому (4) региону.

Элементы технологии возделывания нового сорта. Учеными ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработаны элементы технологии возделывания яровых зерновых культур на основе ресурсосберегающих обработок почвы и применения биопрепаратов [18]. Однако следует учитывать, что ячмень сильнее других

зерновых культур снижает урожайность при запаздывании с посевом. Поэтому срок сева должен быть по возможности ранним, в зависимости от складывающихся погодных условий весны. Например, в опытах ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока самый ранний посев проведен 8 апреля [19]. Рекомендуемая норма высева – 4,5-5,0 млн всхожих зерен на га.

В процессе разработки сортовой технологии получены свидетельства о перспективности использования некоторых биоудобрений и биофунгицидов в технологии возделывания ячменя Боярин. Так, в отдельные годы исследований продуктивная кустистость и продуктивность колоса достоверно повышались по отношению к контролю соответственно в 8 и 7 опытных вариантах, сохранность растений к уборке – в 9 (табл. 1).

Таблица 1 – Варианты применения биоудобрений и биофунгицидов, обеспечивших улучшение показателей элементов продуктивности и сохранности растений ячменя сорта Боярин /

Table 1 – Variants of application of biofertilizers and biofungicides that have improved the elements of productivity and survival of plants of Boyarin barley variety

Вариант / Variant	Сохранность к уборке, % / Survival to harvesting, %			Продуктивная кустистость, шт/раст. / Productive tillering capacity, pcs/plant			Масса зерна с колоса, г / Mass of grain per ear, g		
	2021 г.	2022 г.	среднее / average	2021 г.	2022 г.	среднее / average	2021 г.	2022 г.	среднее / average
Контроль – БО / Control – WT	59,6	70,9	65,3	1,63	1,50	1,57	0,66	1,10	0,88
Флавобактерин – ОС / Flavobakterin – ST	61,1	76,6	68,9	1,76	1,89	1,82	0,76	0,85	0,81
Алирин – ОС / Alirin – ST	57,6	83,5*	70,5	1,70	1,99	1,85	0,82*	1,10	0,96
Азотовит – ОР, кушение / Azotovit – PP, tillering	46,0	86,5*	66,2	2,16*	2,41*	2,29	0,85*	0,91	0,88
Азотовит – ОР, колошение / Azotovit – PP, earing	46,5	82,7*	64,6	2,03*	1,11	1,57	0,73	0,71	0,72
Фосфатовит – ОС / Phosphatovite – ST	46,5	83,4 *	64,9	2,42*	2,00	2,21	0,89*	0,91	0,90
Фосфатовит – ОР, кушение / Phosphatovite – PP, tillering	54,5	80,9*	67,7	2,00*	1,87	1,93	0,78*	1,13	0,95
Фосфатовит – ОР, колошение / Phosphatovite – PP, earing	66,2*	83,4*	74,8	1,87	2,53*	2,20	0,86*	1,14	1,00
Калийвит – ОС / Kaliyvit – ST	70,1*	74,6	72,3	2,02*	2,92*	2,47	0,85*	1,12	0,99
Калийвит – ОР, кушение / Kaliyvit – PP, tillering	58,1	80,8*	69,5	2,15*	2,00	2,07	0,95*	0,96	0,96
Калийвит – ОР, колошение / Kaliyvit – PP, earing	49,5	77,1*	63,3	3,06*	1,89	2,47	0,75	1,00	0,87
В среднем по опыту / Average over the experiment	56,0	79,7	-	2,07	2,01	-	0,81	1,00	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	6,4	6,6	-	0,31	0,72	-	0,11	0,23	-

Примечания: БО – без обработок; ОС – обработка семян; ОР – обработка растений,

* статистически значимое увеличение к контролю /

Notes: WT – without treatments; ST – seed treatment; PP – treatment of plants; * statistically significant increase to control

Среди изучаемых вариантов можно выделить три, обеспечившие существенное улучшение некоторых элементов структуры урожая во все годы исследований: Азотовит – ОР, кущение и Калийвит – ОС (продуктивная кустистость), Фосфатовит – ОР, колошение (сохранность к уборке). В среднем за два года в варианте с обработкой семян биоудобрением Калийвит получены наиболее высокие значения продуктивной кустистости.

Положительное влияние изучаемых био-препаратов на формирование некоторых элементов продуктивности привело к повышению урожайности сорта Боярин в среднем за два года на 0,25-0,79 т/га относительно контрольного варианта (табл. 2). Обнаружено также, что при недостатке влаги в отдельные периоды вегетации в 2021 году не получено статистически значимых прибавок урожайности от применения всех изучаемых препаратов, что,

вероятно, снижает их хозяйственную эффективность. В условиях достаточного, а временами избыточного увлажнения, в 2022 году средняя по опыту прибавка урожайности достигала 0,80 т/га. При этом в большинстве опытных вариантов отмечали существенное повышение урожайности на 0,63-1,58 т/га. Независимо от условий вегетации прибавка урожая получена при обработке семян био-фунгицидами Флавобактерин (0,25 т/га) и Алирин (0,49 т/га), растений – биоудобрением Калийвит в фазы «кущение» и «колошение» (0,73 и 0,50 т/га соответственно). Следует отметить, что в относительно засушливых условиях вегетации обработка семян препаратами Флавобактерин, Алирин и Калийвит, растений – Фосфатовит (кущение) и Калийвит (кущение и колошение) способствовала также увеличению доли зерна в общей биомассе (выход зерна).

Таблица 2 – Варианты применения биофунгицидов и биоудобрений, обеспечивших повышение зерновой продуктивности сорта ячменя Боярин /

Table 2 – The best variants for the use of biofungicides and biofertilizers providing the increase in grain productivity of the Boyarin barley variety

Вариант / Variant	Выход зерна, % / Grain yield, %			Урожайность, ±к контролю, т/га / Yield, ±to control, t/ha		
	2021 г.	2022 г.	среднее / average	2021 г.	2022 г.	среднее / average
Контроль – БО / Control – WT	55,8	62,6	59,2	-	-	-
Флавобактерин – ОС / Flavobakterin – ST	62,5*	78,7*	70,7	+0,27	+0,22	+0,25
Алирин – ОС / Alirin – ST	59,8*	56,0	57,9	+0,20	+0,77*	+0,49
Азотовит – ОР, кущение / Azotovit – PP, tillering	55,2	64,8	60,0	0	+0,63*	+0,31
Азотовит – ОР, колошение / Azotovit – PP, earing	55,8	58,0	56,9	-0,10	+1,31*	+0,61
Фосфатовит – ОС / Phosphatovite – ST	54,9	65,8	60,3	0	+1,58*	+0,79
Фосфатовит – ОР, кущение / Phosphatovite – PP, tillering	56,6	55,7	56,1	0	+0,66*	+0,33
Фосфатовит – ОР, колошение / Phosphatovite – PP, earing	58,6*	72,3*	65,5	+0,02	+0,97*	+0,49
Калийвит – ОС / Kaliyvit – ST	58,7*	62,4	60,5	+0,02	+0,66*	+0,35
Калийвит – ОР, кущение / Kaliyvit – PP, tillering	59,2*	58,2	58,7	+0,11	+1,36*	+0,73
Калийвит – ОР, колошение / Kaliyvit – PP, earing	59,8*	54,6	57,2	+0,26	+0,74*	+0,50
В среднем по опыту / Average over the experiment	57,9	62,6	-	+0,06	+0,80	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	2,2	6,1	-	0,41	+0,50	-

Примечание: см. табл. 1 / Note: see table 1

Сорт Боярин характеризуется как умеренно устойчивый к изучаемым гельминтоспориозным болезням, о чем свидетельствует степень поражения корневой системы и листьев в контроле, которая в годы изучения составила соответственно 15,0 и 15,7 % (корневые гнили), 12,0 и 13,6 % (сетчатая пятнистость), 12,8 и 13,9 % (темно-бурая пятнистость). Несмотря на относительно невысокое развитие листовых микозов, выявлена хорошая отзывчивость сорта Боярин на применение изучаемых препаратов: в 15 вариантах опыта отмечали достоверное (при $P \geq 0,05$) снижение сетчатой пятнистости до 5,5 %, а в 6 – темно-бурой до 6,5 %. Существенное снижение двух видов гельминтоспориозных пятнистостей отмечали в 5 вариантах при обработке: семян препаратами Флавобактерин, Фосфатовит и Нитрозлак; растений в фазы «кущение» и «колошение» – Калийвит. Обнаружено, что фунгитоксичность Калийвит сильнее проявлялась при обработке посевов – степень поражения сетчатой пятнистостью достоверно (при $P \geq 0,05$) снижалась с 12,0 до 8,0 % (2021 г.)

и с 13,6 до 8,3 % (2022 г.), темно-бурой – с 12,8 до 7,7 % и с 13,9 до 8,6 % соответственно по годам. Препарат Нитрозлак более эффективен при обработке семян: развитие сетчатой пятнистости выявлено на уровне 5,5 % (2021 г.) и 8,0 % (2022 г.), темно-бурой – 6,5 и 8,2 % соответственно.

Сезонный мониторинг корневых инфекций показал, что достоверное снижение развития болезни отмечено в 6 опытных вариантах, представленных в таблице 3. Судя по показателю ПКРБ, наиболее медленное нарастание корневых инфекций было при обработке посевов Калийвит в фазу «колошение» (ПКРБ = 180). Наименьшее развитие болезни в фазу «восковая спелость» (6,2 %) и относительно высокая биологическая эффективность (60,5 %) отмечены в варианте с обработкой семян Нитрозлак. Таким образом, использование данного биоудобрения, содержащего бинарную смесь микроорганизмов, в защите от корневых и листовых микозов наиболее эффективно при инокуляции семян, а других видов биоудобрений – при обработке посевов.

**Таблица 3 – Препараты, относительно эффективные в защите ячменя сорта Боярин от корневых гнилей /
Table 3 – Preparations effective in protecting the Boyarin barley variety from root rot**

Вариант / Variant	Развитие болезни в фазу, % / Progression of the disease into a phase, %			ПКРБ / PKRB	Биологическая эффективность, % / Biological efficiency, %
	кущение / tillering	колошение / earring	восковая спелость / waxy ripeness		
Контроль – БО / Control – WT	13,0	14,1	15,7	1647	-
Азотовит – ОР, кущение / Azotovit – PP, tillering	0*	8,6*	8,7*	242	44,6
Азотовит – ОР, колошение / Azotovit – PP, earing	0*	5,8*	8,1*	195	48,4
Фосфатовит – ОР, колошение / Phosphatovite – PP, earing	2,5*	5,8*	8,5*	197	45,8
Калийвит – ОР, колошение / Kaliyvit – PP, earing	2,5*	4,6*	8,3*	180	47,1
Нитрозлак – ОС / Nitrozlak – ST	4,0*	6,0*	6,2*	471	60,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	3,8	5,0	5,5	-	-

Примечания: см. табл. 1; ПКРБ – площадь под кривой развития болезни /
Notes – see table 1; PKRB – the area under the disease development curve

Закключение. Таким образом, в результате многолетней целенаправленной селекции создан и допущен к использованию в Волго-Вятском регионе новый сорт ярового ячменя Боярин, который характеризуется высокой потенциальной урожайностью, устойчивостью к поле-

ганию и другими ценными признаками и свойствами.

При возделывании сорта Боярин выявлено, что целесообразность использования изучаемых биоудобрений и биофунгицидов зависит не только от вида препарата и способа

его применения, но и погодных факторов в период вегетации растений, что требует более длительного изучения. Экспериментальные данные за два года исследований показали, что в относительно засушливых условиях эффективность всех препаратов значительно снижается. Можно выделить варианты с обработкой семян биофунгицидами Флавобактерин и Алирин, растений в фазу «колошение» биоудобрением Калийвит, где получены наибольшие для опыта прибавки урожайности (0,20-0,27 т/га при НСР₀₅ = 0,41). Эффективность изучаемых препаратов повышалась в условиях избыточного увлажнения в период вегетации растений.

Относительно высокие прибавки (1,31-1,58 т/га при НСР₀₅ = 0,50) получены в вариантах с использованием биоудобрений Фосфатовит (обработка семян), Азотовит (обработка растений в фазу «колошение») и Калийвит (обработка растений в фазу «кущение»).

Лучшую защиту от гельминтоспориозных болезней (корневые гнили, сетчатая и темно-бурая пятнистость) обеспечила обработка семян биоудобрением Нитрозлак, которое является не только азотфиксатором и фосфатмобилизатором, но и содержит бинарную смесь микроорганизмов – антагонистов фитопатогенов.

Список литературы

1. Бишарев А. А., Шевченко С. Н., Железникова В. А., Калякулина И. А., Дюльдина М. А. Результаты селекции озимого ячменя в Самарском НИИСХ. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018;20(2-3):478-482. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37034643> EDN: YYIXUT
2. Баталова Г. А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России. Зерновое хозяйство России. 2011;(3):11-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17039179> EDN: OIWOWJ
3. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Ломакина И. В., Рубан З. С. Новый сорт яровой мягкой пшеницы Анфея. Зерновое хозяйство России. 2019;(4(64)):61-65. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-61-65> EDN: TOMPEL
4. Заушинцева А. В. Источники биологических свойств и хозяйственно ценных признаков для селекции ячменя. Вестник КрасГАУ. 2019;(12):64-68. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-64-68> EDN: PGLWHW
5. 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> EDN: SJCFBJ
6. 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> EDN: KZWIDB
7. Айдиев А. Я., Новикова В. Т., Емельянова А. А., Логвинова Е. В., Дугина С. А. Новые сорта зерновых культур как результат научной кооперации. Земледелие. 2020;(8):36-39. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10807> EDN: VNEQOF
8. 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> EDN: QWJWHD
9. Зыков С. А. Биопрепараты в современном земледелии. АгроФорум. 2019;(3):21-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39261704> EDN: TVMYRF
10. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Коноваленко Л. Ю. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения: научный аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 124 с.
11. Черемисин А. И., Кумпан В. Н. Применение биопрепаратов комплексного действия и биоудобрений в оригинальном семеноводстве картофеля. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017;(1(25)):28-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29028612> EDN: YLGBIT
12. Сулейменов Б. У., Колесникова Л. И. Эффективность применения биоудобрения в повышении продуктивности зерновых и зернобобовых культур на светло-каштановых почвах. Почвоведение и агрохимия. 2020;(3):73-82. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43935244> EDN: CBXRFC
13. Амиров М. Ф. Формирование урожая яровой мягкой пшеницы при использовании биологических препаратов и минеральных удобрений. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017;12(2):5-8. DOI: https://doi.org/10.12737/article_599ac50e3defd6.43777208 EDN: YMOTZE
14. Антипова Т. А., Бабайцева Т. А. Влияние предпосевной обработки семян и опрыскивания посевов на формирование урожайности ярового ячменя. Пермский аграрный вестник. 2022;(2(38)):49-56. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_38_49 EDN: DWVEXZ

15. Грунская В. П., Коломейченко В. В. Эффективность микробиологических удобрений на яровой пшенице в Тульской области. Вестник ОрелГАУ. 2017;(3(66)):3-9.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29369129> EDN: YSRUOV
16. Беспалов В. А., Чевердин Ю. И. Эффективность применения препаратов Респекта, НитроЗлак, Санни Микс, Бактофорт на яровой пшенице в условиях Воронежской области. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020;(1-1):134-137. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10033> EDN: YRDPYM
17. Родина Н. А., Щенникова И. Н. Скрининг генотипов ячменя, толерантных к ионам алюминия на кислых почвах. Новые методы селекции озимых колосовых культур: сб. научн. тр. Уфа, 2001. С.151-158.
18. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Иванов В. Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3(58)):43-48.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29184741> EDN: YOQWYJ
19. Родина Н. А. Возделывание пивоваренного ячменя: (рекомендации). Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2003. 104 с.

References

1. Bisharev A. A., Shevchenko S. N., Zheleznikova V. A., Kalyakulina I. A., Dyuldina M. A. The results of breeding winter barley in the samara agricultural research institute. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-3):478-482. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37034643>
2. Batalova G. A. The results of breeding winter barley in the samara agricultural research institute. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2011;(3):11-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17039179>
3. Aseeva T. A., Zenkina K. V., Lomakina I. V., Ruban Z. S. The new spring soft wheat variety 'Anfeya'. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(4):61-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-61-65>
4. Zaushintsena A. V. The sources of biological properties and economically valuable traits for barley selection. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2019;(12):64-68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-64-68>
5. Surin N. A., Zobova N. V., Lyakhova N. E. 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>
6. Marukhnyak A. Ya. Assessment of adaptive characteristics 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>
7. Aidiev A. Ya., Novikova V. T., Emel'yanova A. A., Logvinova E. V., Dugina S. A. New varieties of cereals as a result of scientific cooperation. *Zemledelie*. 2020;(8):36-39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10807>
8. 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>
9. Zykov S. A. Biological products in modern agriculture. *AgroForum*. 2019;(3):21-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39261704>
10. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Konovalenko L. Yu. Modern technologies for the production of pesticides and agrochemicals of biological origin: a scientific analytical review. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2018. 124 с.
11. Cheremisin A. I., Kumpan V. N. Application of biological products of complex action and biofertilizers in original seed farming of potatoes. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2017;(1(25)):28-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29028612>
12. Suleymenov B. U., Kolesnikova L. I. Efficiency of biofertilizer application in increasing productivity of grain and leguminous crops on light chestnut soils. *Pochvovedenie i agrokimiya*. 2020;(3):73-82. (In Kazakhstan). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43935244>
13. Amirov M. F. Formation of soft spring wheat yield at the use of biological preparations and mineral fertilizers. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2017;12(2):5-8. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_599ac50e3defd6.43777208
14. Antipova T. A., Babaytseva T. A. The influence of pre-sowing seed treatment and spraying of crops on the formation of yields of spring barley. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2022;(2(38)):49-56. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_38_49
15. Grunskaya V. P., Kolomeychenko V. V. The effectiveness of microbiological fertilizers on spring wheat in the Tula region. *Vestnik OrelGAU* = Vestnik OrelGAU. 2017;(3(66)):3-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29369129>

16. Bepalov V. A., Cheverdin Yu. I. Efficiency of application of preparations of Respect, NitroCereal, Sanni the Mix, Baktofort on spring wheat in the conditions of the Voronezh region. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2020;(1-1):134-137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10033>

17. Rodina N. A., Shchennikova I. N. Screening of barley genotypes tolerant to aluminum ions on acidic soils. New methods of selection of winter cereal crops: collection of scientific articles. Ufa, 2001. pp.151-158.

18. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Ivanov V. L. Improved resource-saving technology of soil cultivation and use of bio-preparations for spring cereals crops under conditions of central zone of North-East of European part of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3):43-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29184741>

19. Rodina N. A. Cultivation of malting barley: (recommendations). Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2003. 104 p.

Сведения об авторах

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

Шешегова Татьяна Кузьмовна, доктор биол. наук, заведующая лабораторией иммунитета и защиты растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2371-4949>

Снигирева Ольга Михайловна, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4771-5332>

Information about the authors

✉ **Irina N. Shchennikova**, DSc in Agricultural Science, corresponding member of RAS, 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: <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>, e-mail: i.schennikova@mail.ru

Tatyana K. Sheshegova, DSc in Biological Science, Head of the Laboratory of Immunity and Plant Protection, 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/0000-0003-2371-4949>

Olga M. Snigireva, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4771-5332>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Анализ адаптивности сортов и линий овса по элементам продуктивности в условиях Кировской области

© 2023. О. А. Жуйкова[✉], Г. А. Баталова

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

Исследования проводили в 2020–2022 гг. в центральной части Кировской области при достаточно неоднородных погодных условиях. В питомнике конкурсного испытания изучали 3 сорта и 8 линий овса пленчатого с целью анализа их адаптивной способности по элементам структуры продуктивности. Сорта и линии характеризовали на основании суммы рангов результатов оценки по методикам S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966), Н. А. Плохинского (1961), Л. А. Животкова и др. (1994), А. А. Rosielle и J. Hamblin (1981). Было отмечено прямое статистически значимое влияние признаков «масса 1000 зерен», «масса зерна с метелки», «число зерен в метелке» на величину урожайности ($r = 0,62...0,85$). Формирование элементов структуры продуктивности зависело от гидротермических условий отдельных периодов вегетации ($r = 0,63...0,72$). Методом двухфакторного дисперсионного анализа выявлено, что влияние фактора «год» на элементы структуры продуктивности было более значительным (33,7...64,3 %), чем фактора «сорт» (8,5...24,6 %). Выявлены линии и сорта, которые способны формировать стабильно высокую урожайность в контрастных погодных условиях за счет определенных элементов структуры или их совместного влияния. Высокая адаптивная способность с минимальной суммой рангов получена по числу колосков у линии 41h18 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 17$), сорта Кировский 2 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 14$); по числу зерен в метелке и массе зерна с метелки – линии 41h18 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 14$ и 15); по массе 1000 зерен – линии 25h18, 91h18, 41h18, 50h18, 162h15 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 21...27$), сортов Медведь и Кировский 2 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 18...22$). По общей наименьшей сумме рангов (71...97) выделены сорт Кировский 2, перспективные линии 25h18 и 41h18.

Ключевые слова: *Аvena sativa* L., индекс условий среды, стабильность, пластичность, стрессоустойчивость, температура, осадки, количество колосков, масса 1000 зерен

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Анализ адаптивности сортов и линий овса по элементам продуктивности в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):949–957.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957>

Поступила: 02.06.2023

Принята к публикации: 13.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Analysis of adaptability of oat varieties and lines by productivity elements in the conditions of Kirov region

© 2023. Olga A. Zhuikova[✉], Galina A. Batalova

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

The research was carried out in 2020–2022 in the central part of the Kirov region, under varying weather conditions. In the nursery of the competitive variety testing, 3 varieties and 8 lines of hulled oats were studied in order to analyze their adaptive ability according to the elements of the productivity structure. Varieties and lines were characterized based on the sum of the ranks of the evaluation results according to the methods of S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966), N. A. Plokhinsky (1961), L. A. Zhivotkov et al. (1994), A. A. Rosielle and J. Hamblin (1981). There was a direct statistically significant effect of the mass of 1000 grains, the mass of grain from the panicle, the number of grains in the panicle on the yield ($r = 0.62...0.85$). The formation of the elements of the productivity structure depended on the hydrothermal conditions of individual periods of vegetation ($r = 0.63...0.72$). The method of two-factor analysis of variance revealed that the influence of the "year" factor on the elements of the productivity structure was more significant (33.7...64.3 %) than the "grade" factor (8.5...24.6 %). There have been identified lines and varieties able to form consistently high yields in contrasting weather conditions due to certain structural elements or their combined influence. A high adaptive capacity with a minimum amount of ranks was obtained by the number of spikelets in the 41h18 line ($\Sigma_{\text{ranks}} = 17$), varieties Kirovsky 2 ($\Sigma_{\text{ranks}} = 14$); by the number of grains in the panicle and by the weight of grains from the panicle – line 41h18 ($\Sigma_{\text{ranks}} = 14$ and 15); by the weight of 1000 grains – lines 25h18, 91h18, 41h18, 50h18, 162h15 ($\Sigma_{\text{ranks}} = 21...27$), varieties Medved' and Kirovsky 2 ($\Sigma_{\text{ranks}} = 18...22$). According to the total lowest sum of ranks (71...97), the Kirovsky grade 2, promising lines 25h18 and 41h18 have been identified.

Keywords: *Avena sativa* L., index of environmental conditions, stability, plasticity, stress resistance, temperature, precipitation, number of spikelets, mass of 1000 grains

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

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

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

For citation: Zhuikova O. A., Batalova G. A. Analysis of adaptability of oat varieties and lines by productivity elements in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):949-957. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.949-957>

Received: 02.06.2023

Accepted for publication: 13.11.2023

Published online: 20.12.2023

Разнообразие почвенно-климатических условий в Кировской области оказывает существенное влияние на рост и развитие растений овса, формирование урожая и качество зерна. Овес – влаголюбивая культура, недостаточное увлажнение и повышение температуры вызывают снижение его урожайности на 60 % и более, особенно при засухе в репродуктивной стадии развития растений [1].

Кировская область относится к территориям с достаточным увлажнением и средними температурами в период вегетации, многоснежной зимой с низкими температурами. При этом в период вегетации практически ежегодно отмечают 20...35 засушливых дней, в отдельные годы их число достигает 60 дней [2]. Для повышения урожайности культуры необходимо вести многолетнюю селекционную работу, проводить многочисленные исследования и выявлять признаки, обеспечивающие адаптационную способность сортов к эдафическому стрессу [3, 4]. Контроль экологической пластичности, стабильности и адаптивности сортов в процессе селекции необходим для получения стабильно высоких урожаев [5].

Цель исследований – анализ адаптивной способности сортов и перспективных линий овса пленчатого по элементам структуры продуктивности.

Научная новизна – в условиях Кировской области получены новые данные о влиянии факторов среды на элементы структуры продуктивности сортов и перспективных линий овса пленчатого, выявлены генотипы с высокой адаптивной способностью.

Материал и методы. На опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2020-2022 гг. изучали 3 сорта и 8 линий овса пленчатого питомника конкурсного испытания. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин с небольшой мощностью перегнойного горизонта. Содержание гумуса – 2,43...2,51 % (ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и обменного калия – 334...339 и 200...245 мг/кг почвы соответственно (ГОСТ 26207-91), кислотность – 5,7...6,0 ед. pH (ГОСТ 26212-91).

Исследования проводили в соответствии с методикой ГСИ¹. Пластичность и отзывчивость сортов на изменение условий среды определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) в изложении В. А. Пакудина и Л. М. Лопатиной², вклад генотипов и условий среды в формирование урожайности – по Н. А. Плохинскому³, коэффициент адаптивности (КА) – по Животкову с соавт.⁴, стрессоустойчивость и компенсаторную способность сортов – по А. А. Rosielle и J. Hamblin (1981) в изложении А. А. Гончаренко⁵, гидротермический коэффициент (ГТК) – по А. И. Селянинову⁶. Адаптивную способность сортов характеризовали по сумме рангов, полученной методом ранжирования. Наиболее высокий ранг – первый, наиболее низкий – одиннадцатый. Для обработки результатов исследований методами дисперсионного и корреляционного анализа применяли пакет селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS, версия 2.07, и пакет прикладных программ Microsoft Excel.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.

²Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 1984;19(4):109-113.

³Плохинский Н. А. Биометрия. Новосибирск, 1961. 364 с.

⁴Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6.

⁵Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник РАСХН*. 2005;(6):49-53.

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928. Вып. 20. С. 165-177.

Погодные условия в годы исследований были достаточно контрастными. В целом, вегетационный период овса в 2020 г. характеризовался избыточным увлажнением (ГТК = 2,02), в 2021 г. (ГТК = 1,17) и 2022 г. (ГТК 2022 г. = 1,39) – достаточным. В мае 2020 г. наблюдалась неустойчивая по температуре погода, преимущественно сухая, лишь в третьей декаде шли редкие небольшие или значительные осадки, в результате выпало 165 % осадков от нормы. Фаза кущения у растений овса наступила в первой половине июня, когда было прохладно и отмечали заморозки. В первую и вторую декады июля (период «цветение-завязывание зерна») отмечали повышенный температурный фон и недостаточное увлажнение. Температура воздуха днем превышала климатическую норму на 3-12 °С и достигала 36 °С. Последующее развитие растений проходило при оптимальных для культуры погодных условиях.

В мае 2021 г. преобладала аномально жаркая погода, часто с сухими периодами, сумма эффективных температур составила 320,4 °С, что на 120 °С больше средней многолетней величины. В первой декаде июня отмечена умеренно теплая, затем преобладала жаркая

погода с крайне слабыми дождями и только во второй декаде месяца. До конца периода вегетации овса было умеренно тепло и сухо с незначительными дождями в отдельные дни.

В мае 2022 г. выпадали незначительные осадки. Среднесуточная температура воздуха составляла 6...11 °С, что на 1...6 °С ниже обычных значений. В июне и июле преобладала теплая, временами жаркая погода, периоды с частыми дождями чередовались с сухими периодами. Август характеризовался жаркой погодой с редкими дождями.

Результаты и их обсуждение. Урожайность – комплексный показатель, определяемый различными элементами структуры продуктивности, находящимися в сложной корреляционной зависимости [6]. В связи с этим, необходимо определить роль отдельных элементов и установить их вклад в урожайность зерна [7].

Высота и длина метелки растений овса, исходя из показателя изменчивости признака (CV), отличались наименьшим средним значением вариативности – менее 10 % (табл. 1). Другие параметры структуры продуктивности имели значительную изменчивость (CV>20 %).

Таблица 1 – Изменчивость параметров структуры продуктивности линий и сортов овса пленчатого, % (2020-2022 гг.) /

Table 1 – Variability of parameters of the productivity structure of lines and varieties of hulled oats, % (2020-2022)

Показатель / Parameter	Пределы варьирования / Limits of variation (CV)	Среднее значение варьирования / Average value of variation (CV)	Сорта и линии с высоким значением показателя / Varieties and lines with high value of the parameter
Высота растений / Plant height	4,4-10,9	6,4	178h13, 25h18, 50h18, Медведь / Medved'
Длина метелки / Panicle length	7,6-13,7	9,5	178h13, 41h18, Медведь / Medved'
Масса метелки / Panicle mass	17,1-29,1	24,4	162h15, 41h18, 25h18, Кировский 2 / Kirovsky 2
Число колосков в метелке / Number of spikelets in a panicle	17,0-27,3	22,3	162h15, 178h13, 25h18, 41h18, Кировский 2, Кречет / Kirovsky 2, Krechet
Число зерен в метелке / Number of grains in a panicle	16,8-31,0	25,9	162h15, 25h18, 41h18, Кировский 2 / Kirovsky 2
Масса зерна с метелки / Grain mass from a panicle	18,1-31,7	27,1	162h15, 25h18, 41h18, Кировский 2 / Kirovsky 2
Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains	17,1-33,0	24,2	25h18, 91h18, 41h18, Медведь / Medved'

Наиболее заметное влияние на величину урожайности овса оказывают масса зерна с метелки, масса 1000 зерен, число зерен и колосков в метелке (табл. 2). Отмечая слабую зависимость урожайности от крупности зерна,

в селекционных программах необходимо уделять внимание данному признаку, что будет способствовать увеличению урожайности при условии стабильных значений массы 1000 зерен по годам [8].

Таблица 2 – Коэффициенты парных корреляций между урожайностью и элементами структуры продуктивности линий и сортов овса пленчатого (2020-2022 гг.) /

Table 2 – Coefficients of paired correlations between yield and elements of the productivity structure of lines and varieties of hulled oats (2020-2022)

Элемент структуры продуктивности / Element of the productivity structure	Коэффициенты корреляции / Correlation coefficients
Высота растения / Plant height	0,13...0,38
Длина метелки / Panicle length	0,08...0,24
Число колосков в метелке / Number of spikelets in a panicle	0,41...0,55
Число зерен в метелке / Number of grains in a panicle	0,35...0,62*
Масса зерна с метелки / Grain mass from a panicle	0,41...0,85*
Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains	0,20...0,73*

*Корреляционная связь достоверна на уровне $p \leq 0,05$ / *Correlation relation is reliable at $p \leq 0.05$

Каждый элемент структуры продуктивности формируется под влиянием многих факторов и в течение вегетации имеет уязвимые периоды.

У линий и сортов селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока выявлены статистически значимые корреляционные зависимости между количеством колосков и ГТК в период «всходы-выметывание» ($r = 0,65$), числом зерен в метелке и ГТК – «всходы-цветение» ($r = 0,63$); массой 1000 зерен и ГТК – «выметывание-созревание» ($r = 0,72$).

Число колосков в метелке, число зерен, масса зерна с метелки, масса 1000 зерен являются основными элементами в формировании урожайности и надежным индикатором при отборе урожайных генотипов [8, 9, 10].

Анализ значений индекса условий среды (I_j), показал, что лучшие условия для формирования показателя «число колосков в метелке» сложились в 2021 г. ($I_j = 2,10$), «число зерен в метелке» – в 2020 г. и 2022 г. ($I_j = 0,65$ и $0,68$ соответственно), «масса 1000 зерен» – в 2022 г. ($I_j = 1,73$) (табл. 3). Формирование других показателей проходило в неблагоприятных или оптимальных условиях. Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности наблюдали в 2020 и 2022 гг., худшие – в 2021 г. и соответствовали низкому показателю индекса условий среды для образования числа зерен в метелке. Число зерен в метелке напрямую зависело от значений индекса условий среды в годы исследований ($r = 0,97$).

Таблица 3 – Индекс условий среды по элементам структуры продуктивности линий и сортов овса пленчатого /
Table 3 – Environmental conditions index by elements of the productivity structure of lines and varieties of hulled oats

Элемент структуры / Element of the structure	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Число колосков в метелке / Number of spikelets in a panicle	1,60	2,10	-3,70
Число зерен в метелке / Number of grains in a panicle	0,65	-1,33	0,68
Масса зерна с метелки / Grain mass from a panicle	-0,04	-0,04	0,09
Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains	-1,84	0,11	1,73
Урожайность / Crop yield	0,36	-1,21	0,85

Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, погодные условия, сорт и их взаимодействие оказали достоверное влияние на элементы структуры продуктивности овса на 5%-ом уровне значимости. Доля фактора «год» была более значительной, чем фактора «сорт» по признакам: «число зерен в метелке» – 33,7 и 21,2 %; «число колосков в

метелке» – 43,1 и 24,6 %; «масса 1000 зерен» – 56,2 и 14,5 %; «масса зерна с метелки» – 64,3 и 8,5 % соответственно.

В результате исследований установлено, что при улучшении условий выращивания (при $b_i > 1$) увеличилось число колосков у линий 162h15, 50h18 и сортов Медведь, Кировский 2, число зерен – у линий 25h18, 4h14, 79h14, 91h18

и сорта Кречет, масса зерна с метелки – у линий 178h13, 25h18, 4h14, 79h14, 91h18, 41h18, 50h18, масса 1000 зерен – у линий 178h13, 25h18, 4h14, 79h14, 91h18, 50h18 и сорта Кречет (табл. 4).

В различных почвенно-климатических условиях важное значение имеет стабильность (S_i) параметров. Признак «масса зерна с метелки»

показал самую высокую стабильность у всех изученных сортов и линий. Высокой стабильной реакцией на условия среды по признаку «число колосков в метелке» отличились сорта Медведь и Кировский 2, линии 178h13 и 41h18, «число зерен в метелке» – линия 41h18, «масса 1000 зерен» – линии 162h15, 4h14, сорта Медведь и Кировский 2 (табл. 5).

Таблица 4 – Коэффициенты линейной регрессии (b_i) параметров структуры продуктивности линий и сортов овса пленчатого (2020-2022 гг.) /

Table 4 – Coefficients of linear regression (b_i) of parameters of productivity structure of lines and varieties of hulled oats (2020-2022)

Сорт, линия / variety, line	Число колосков / Number of spikelets	Число зерен / Number of grains	Масса зерна с метелки / Grain weight from a panicle	Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains
	в метелке / from a panicle			
Кречет, ст. / Krechet, st.	1,00	1,37	0,90	1,22
162h15	1,72	-3,80	-0,90	0,46
178h13	0,95	-3,00	2,60	1,15
Медведь / Medved'	1,69	0,64	-0,40	-0,2
Кировский 2 / Kirovsky 2	2,35	-2,40	-0,20	0,46
25h18	-0,80	8,18	8,01	1,17
4h14	0,66	2,28	2,52	2,62
79h14	0,48	6,94	1,52	1,47
91h18	0,42	2,32	4,20	1,07
41h18	0,93	0,98	1,95	0,37
50h18	1,63	-2,40	2,16	1,26

Таблица 5 – Стабильность (S_i) параметров структуры продуктивности сортов и линий овса пленчатого (2020-2022 гг.) /

Table 5 – Stability (S_i) of parameters of the productivity structure of varieties and lines of hulled oats (2020-2022)

Сорт, линия / Variety, line	Число колосков / Number of spikelets	Число зерен / Number of grains	Масса зерна с метелки / Grain weight from a panicle	Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains
	в метелке / from a panicle			
Кречет, ст. / Krechet, st.	3,65	18,2	0,01	3,87
162h15	9,69	23,8	0,05	0,19
178h13	1,23	21,7	0,04	7,42
Медведь / Medved'	0,02	22,6	0,03	0,39
Кировский 2 / Kirovsky 2	0,09	13,2	0,03	0,35
25h18	13,7	136,0	0,05	1,63
4h14	1,61	8,2	0,01	0,36
79h14	16,3	11,5	0,06	4,23
91h18	6,01	26,2	0,01	1,16
41h18	1,21	0,1	0,03	1,62
50h18	54,9	5,3	0,05	1,51

Высокая адаптивная реакция сортов и линий (КА) отмечена по числу колосков в метелке от 100,4 до 123,1 % у 4 линий и 2 сортов; по числу зерен в метелке от 110,0 до 118,5 %

и массе зерна с метелки от 107,9 до 126,1 % – у 3 линий и 1 сорта; по массе 1000 зерен от 102,2 до 109,6 % – у 3 линий и 2 сортов (табл. 6).

Таблица 6 – Коэффициент адаптивности (КА) сортов и линий овса пленчатого по параметрам структуры продуктивности, % (2020-2022 гг.) /

Table 6 – Adaptive reaction of varieties and lines of hulled oats according to the parameters of the productivity structure, % (2020-2022)

Сорт, линия / Variety, line	Число колосков / Number of spikelets	Число зерен / Number of grains	Масса зерна с метелки / Grain weight from a panicle	Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains
	в метелке / from a panicle			
Кречет, ст. / Krechet, st.	101,9	99,8	97,7	98,9
162h15	100,4	110,1	107,9	98,6
178h13	101,8	90,9	84,1	92,8
Медведь/ Medved’	85,9	84,9	93,0	109,0
Кировский 2 / Kirovskiy 2	123,1	118,5	121,3	102,2
25h18	107,5	114,2	126,1	109,6
4h14	91,4	94,5	85,1	90,6
79h14	89,8	89,1	77,2	90,3
91h18	85,0	91,7	93,8	102,9
41h18	114,7	110,8	117,3	105,4
50h18	97,6	96,8	96,2	99,8

Менее адаптивными по параметру «число зерен в метелке», который более тесно связан с урожайностью, отмечены линии 178h13, 4h14, 79h14, 91h18, 50h18 и сорт Медведь с показателями адаптивной реакции на уровне и ниже стандарта Креchet.

Низкий уровень стрессоустойчивости, согласно уравнениям А. А. Rosieie, J. Hamblin ($Y_{min} - Y_{max}$) характерен для сортов с широкой приспособительной способностью. Наиболее стрес-

соустойчивыми по числу колосков выделились линии 91h18, 4h14, 41h18, 79h14, 178h13 (-3,9...-5,9); по числу зерен в метелке – линия 41h18 (-2,0); по массе зерна с метелки – стандарт Креchet (-0,02); по массе 1000 зерен – линия 162h15 (-1,6) и сорта Медведь (-1,2) и Кировский 2 (-1,6). По массе 1000 зерен меньшая стрессоустойчивость отмечена у линии 4h14 (-9,3), 178h13 и 79h14 (-5,3) (табл. 7).

Таблица 7 – Стрессоустойчивость и генетическая гибкость сортов и линий овса пленчатого по элементам структуры продуктивности (2020-2022 гг.) /

Table 7 – Stress resistance and genetic flexibility in varieties and lines of hulled oats by elements of the productivity structure (2020-2022)

Сорт, линия/ Variety, line	Число колосков / Number of spikelets		Число зерен / Number of grains		Масса зерна с метелки / Grain weight from a panicle		Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains	
	в метелке / from a panicle							
	1	2	1	2	1	2	1	2
Креchet, ст. / Krechet, st.	-6,8	27,0	-6,0	38,7	-0,02	1,30	-4,7	34,2
162h15	-11,9	27,1	-11,1	41,1	-0,39	1,44	-1,6	34,5
178h13	-5,9	26,8	-9,4	18,5	-0,35	1,09	-5,3	33,2
Медведь / Medved'	-9,8	22,0	-6,7	32,6	-0,28	1,26	-1,2	38,4
Кировский 2 / Kirovsky 2	-13,9	31,8	-7,3	44,2	-0,27	1,54	-1,6	35,7
25h18	-7,0	27,7	-24,5	44,8	-0,99	1,79	-4,1	38,1
4h14	-4,5	24,3	-6,6	36,0	-0,22	1,17	-9,3	31,5
79h14	-5,8	24,9	-16,2	32,7	-0,33	0,99	-5,3	31,0
91h18	-3,9	23,4	-8,2	35,8	-0,44	1,32	-3,9	36,6
41h18	-5,8	30,2	-2,0	41,6	-0,17	1,54	-2,2	37,2
50h18	-13,9	28,0	-6,5	36,5	-0,28	0,40	-4,6	35,6

Примечания / Notes: 1 – ($Y_{min} - Y_{max}$); 2 – ($Y_{min} + Y_{max}$)/2

Соответствие генотипа факторам внешней среды отражает компенсаторная способность $(Y_{min} + Y_{max})/2$. Высокая генетическая гибкость по числу колосков в метелке выявлена у линии 41h18 (30,2) и сорта Кировский 2 (31,8); по числу зерен в метелке – у линии 25h18 (44,8) и сорта Кировский 2 (44,2); по массе зерна с метелки – у линии 25h18 (1,79); по массе 1000 зерен – у линии 25h18 (38,1) и сорта Медведь (38,4). По массе 1000 зерен меньшая генетическая гибкость отмечена у линий 4h14 (31,5) и 79h14 (31,0).

Для более полной и всесторонней оценки характеристики генотипа исследователи [11, 12] используют данные, полученные методом

ранжирования по параметрам суммирования рангов. В наших исследованиях наименьшая сумма рангов получена по числу колосков в метелке у сорта Кировский 2 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 14$) и линии 41h18 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 17$); по числу зерен в метелке и массе зерна с метелки – у линии 41h18 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 14$ и 15 соответственно); по массе 1000 зерен – у линий 25h18, 91h18, 41h18, 50h18, 162h15 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 21...27$) и сортов Медведь и Кировский 2 ($\Sigma_{\text{рангов}} = 18...22$) (табл. 8). Данные линии и сорта способны формировать стабильно высокую урожайность в контрастных погодных условиях за счет тех или иных элементов структуры продуктивности.

Таблица 8 – Ранги параметров адаптивной способности сортов и линий овса пленчатого по элементам структуры продуктивности /

Table 8 – Ranks of parameters of adaptive ability of varieties and lines of hulled oats by elements of productivity structure

Сорт, линия / Variety, line	Число колосков / Number of spikelets	Число зерен / Number of grains	Масса зерна с метелки / Grain weight from a panicle	Масса 1000 зерен / Mass of 1000 grains	Общая сумма по рангам / Total by ranks
	в метелке / from the panicle				
Кречет, ст. / Krechet, st.	26	23	20	35	104
162h15	29	37	30	26	122
178h13	26	45	31	43	145
Медведь/ Medved'	32	41	31	18	122
Кировский 2 / Kirovsky 2	14	23	19	22	78
25h18	33	26	17	21	97
4h14	32	25	24	33	114
79h14	39	35	32	42	148
91h18	39	36	23	24	122
41h18	17	14	15	25	71
50h18	34	25	30	27	116

Сорт Кировский 2, перспективные линии 25h18 и 41h18 имели наименьшую общую сумму рангов (71...97) всех изученных показателей. Следует отметить, что сорт Кировский 2 в 2021 г. передан на государственное сортоиспытание, сорт формирует высокую урожайность, массу 1000 зерен, ценное по качеству зерно, имеет практическую устойчивость к пыльной головне и корончатой ржавчине [13].

Выводы. 1. На формирование элементов структуры продуктивности сортов и линий овса пленчатого оказали влияние гидротермические условия отдельных периодов вегетации. В условиях Кировской области выявлена достоверная прямая корреляционная зависимость количества колосков в метелке от значений ГТК

в период «всходы-выметывание» ($r = 0,65$), числа зерен в метелке – «всходы-цветение» ($r = 0,63$), массы 1000 зерен – «выметывание-созревание» ($r = 0,72$). Число зерен в метелке напрямую зависело от значений индекса условий среды в годы исследований ($r = 0,97$).

2. Элементы структуры продуктивности растений находятся в сложной корреляционной зависимости и зачастую только в совокупности определяют урожайность зерна. Математический анализ результатов исследований показал значительную роль в формировании урожайности овса пленчатого параметров «число зерен в метелке», «масса зерна с метелки», «масса 1000 зерен».

3. Для создания нового селекционного материала среди линий и сортов овса пленчатого селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

выявлены генотипы с высокой адаптационной способностью: сорт Кировский 2, перспективные линии 25h18 и 41h18.

Список литературы

1. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O. B. A., Tapera T., Labuschagne M., Rizvan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2018;40:80. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6>
2. Batalova G. A., Shchennikova I. N., Lisitsyn E. M. Breeding of grain crops in extreme climatic conditions. *Temperate Crop Science and Breeding: Ecological and Genetic Studies*. Waretown, NJ: Apple Academic Press, 2016. pp. 3-16. DOI: <https://doi.org/10.1201/b19861-3>
3. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Пермякова С. В. Адаптивный потенциал коллекционных образцов овса пленчатого в условиях Кировской области. *Таврический вестник аграрной науки*. 2022;2(30):143-154. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49231773> EDN: AIRDGB
4. Власов А. Г., Халецкий С. П., Булавина Т. М. Адаптивные свойства и особенности формирования урожайности сортов овса белорусской селекции. *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2020;6(4):397-404. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-4-397-404> EDN: PZZPDQ
5. Войцукская Н.П., Лоскутов И.Г. Селекционная ценность европейских образцов овса в условиях Кубанской опытной станции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):52-58. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-52-58> EDN: XDPRXL
6. Иванова И. Ю., Иванова А. О., Ильина С. В. Корреляционная зависимость урожайности пшеницы мягкой яровой от элементов продуктивности. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019;(4(32)):119-125. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11142> EDN: RPVZCI
7. Маслова Г. Я., Абдраев М. Р., Шарапов И. И., Шарапова Ю. А. Корреляционный анализ урожайности и элементов продуктивности сортов озимой мягкой пшеницы в засушливых условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018;20(2-4):680-683. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37313258> EDN: ZDFTAL
8. Кинчаров А. И., Таранова Т. Ю., Демина Е. А., Чекмасова К. Ю. Селекционная оценка признака масса 1000 зерен в засушливых условиях. *Успехи современного естествознания*. 2020;(5):7-12. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37384> EDN: OWEEQI
9. Пушкарев Д. В., Чурсин А. С., Кузьмин О. Г., Краснова Ю. С., Каракоз И. И., Шаманин В. П. Корреляция урожайности с элементами продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в условиях степной зоны Омской области. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2018;(3(31)):26-35. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35683004> EDN: YARSBV
10. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н. Озерненность, масса зерна колоса и масса 1000 зерен в повышении урожайности озимой мягкой пшеницы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015;3(53):27-29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23828339> EDN: UBLIFT
11. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивный потенциал сортов ярового овса селекции Омского аграрного научного центра. *Земледелие*. 2020;(2):27-31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10207> EDN: YWMTSZ
12. Юсова О. А., Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Скрининг сортов овса омской селекции для условий южной лесостепи западной Сибири. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2021;16(1):42-53. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53> EDN: NKNZQB
13. Баталова Г. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Жуйкова О. А. Некоторые результаты селекции яровых зерновых на иммунитет в условиях Волго-Вятского региона России. *Эколого-генетические основы селекции возделывания сельскохозяйственных культур: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. и школы молодых ученых по эколого-генетическим основам растениеводства*. Краснодар: ФГБНУ «ФНЦ риса», 2022. С. 4-7. DOI: <https://doi.org/10.33775/conf-2022-4-7>

References

1. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O. B. A., Tapera T., Labuschagne M., Rizvan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2018;40:80. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6>
2. Batalova G. A., Shchennikova I. N., Lisitsyn E. M. Breeding of grain crops in extreme climatic conditions. *Temperate Crop Science and Breeding: Ecological and Genetic Studies*. Waretown, NJ: Apple Academic Press, 2016. pp. 3-16. DOI: <https://doi.org/10.1201/b19861-3>
3. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Permyakova S. V. Adaptive potential of filmy *avenasativa* l. samples under conditions of the Kirov region. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;2(30):143-154. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49231773>

4. Vlasov A. G., Khaletskiy S. P., Bulavina T. M. Adaptive properties and features of productivity formation of belarusian oat varieties. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2020;6(4):397-404. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-4-397-404>
5. Voytsutskaya N. P., Loskutov I. G. Breeding value of european oat accessions in the environments of Kuban experiment station of VIR. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019;180(1):52-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-52-58>
6. Ivanova I. Yu., Ivanova A. O., Ilyina S. V. Correlation dependence of soft spring wheat productivity on productivity elements. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2019;(4(32)):119-125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11142>
7. Maslova G. Ya., Abdryayev M. R., Sharapov I. I., Sharapova Yu. A. Correlation analysis of yield and elements of productivity of winter soft wheat varieties in the arid conditions of steppe zone of middle Volga region. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-4):680-683. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37313258>
8. Kincharov A. I., Taranova T. Yu., Demina E. A., Chekmasova K. Yu. Breeding evaluation of the trait mass of 1000 grains in arid conditions. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020;(5):7-12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37384>
9. Pushkarev D. V., Chursin A. S., Kuz'min O. G., Krasnova Yu. S., Karakoz I. I., Shamanin V. P. Correlation of yield with elements of productivity of varieties of spring soft wheat in the conditions of the steppe zone of the Omsk region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2018;(3(31)):26-35. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35683004>
10. Kovtun V. I., Kovtun L. N. Correlation of grain content in an ear, grain mass of one ear and mass of 1000 grains with soft winter wheat yields increase. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015;3(53):27-29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23828339>
11. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Anis'kov N. I., Safonova I. V. Adaptive potential of spring oats varieties bred in Omsk agricultural scientific center. *Zemledelie*. 2020;(2):27-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10207>
12. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Aniskov N. I., Safonova I. V. Screening of oat cultivars developed in omsk for conditions of the southern foreststeppe in Western Siberia. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2021;16(1):42-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53>
13. Batalova G. A., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Zhuikova O. A. Some results of breeding spring grains for immunity in the Volga-Vyatka region of Russia. Ecological and genetic bases of breeding in the cultivation of agricultural crops: Proceedings of International scientific-practical conf. and schools of young scientists on the ecological and genetic foundations of crop production. Krasnodar: FGBNU «FNTs risa», 2022. pp. 4-7. DOI: <https://doi.org/10.33775/conf-2022-4-7>

Сведения об авторах

✉ **Жуйкова Ольга Анатольевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией селекции овса, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3290-4827>, e-mail: zhuikova_o@mail.ru

Баталова Галина Аркадьевна, доктор с.-х. наук, академик РАН, заведующая отделом селекции овса, заместитель директора по селекционной работе, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

Information about the authors

✉ **Olga A. Zhuikova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Oat Breeding, 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/0000-0002-3290-4827>, e-mail: zhuikova_o@mail.ru

Galina A. Batalova, DSc in Agricultural Science, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Oat Breeding, Deputy Director for Breeding Work, 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/0000-0002-3491-499X>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Результаты изучения коллекционных сортообразцов гороха (*Pisum sativum* L.) по хозяйственно полезным признакам

© 2023. С. С. Пислегина✉, С. А. Четвертных

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

В 2015–2021 гг. в полевых и лабораторных условиях Фалёнской селекционной станции (Кировская область) изучали 58 коллекционных сортообразцов гороха различного морфотипа и эколого-географического происхождения с целью выделения источников селекционно ценных признаков для создания новых сортов. Для сортообразцов листочкового морфотипа стандартом служил сорт Красноуфимский 93, усатого – Фалёнский усатый. По метеорологическим условиям годы исследований контрастно различались: гидротермический коэффициент (ГТК) варьировал от 0,82 (2016 г.) до 2,57 (2019 г.). Наиболее высокая урожайность зерна в среднем по коллекции сформировалась в 2015 г. (ГТК = 1,59) – 358 ± 15 г/м², наиболее низкая в 2021 г. (ГТК = 0,84) – 126 ± 4 г/м². Изучаемый набор сортообразцов представлен в основном среднеспелыми (70–75 суток в среднем за изучаемые годы), среднепродуктивными (201–250 г/м²) сортообразцами, с массой 1000 семян 150–250 г. Выделены генотипы, превысившие по урожайности зерна стандартные сорта на 10 % и более: Тигра (Германия) – 353 г/м², Стабил (Австрия) – 336 г/м², Вятчик (Россия) – 308 г/м², Флора (Россия) – 286 г/м², Г-21594 (Россия) – 283 г/м² и другие. Определены сортообразцы с высокими показателями элементов продуктивности. У листочковых сортообразцов отмечены: наиболее высокое число фертильных узлов (4,4–4,6 шт.) – Верхолузская, Рябчик (Россия), Serio (США); число бобов (6,0–6,1 шт.) – Г-21594, Вятчик (Россия), Ps var vittelinum (Германия); число зёрен (24,1–27,1 шт.) – Верхолузская, Г-21594, Д-13560 (Россия). Повышенной семенной продуктивностью (5,2–5,6 г) характеризовались как листочковые морфотипы – Grana (США), Omega (Молдавия), так и усатые – Стабил (Австрия). Высокой вариабельностью отличались показатели: «урожайность зерна», «число фертильных узлов», «число бобов и зёрен на растении»; «масса 1000 семян» изменялась незначительно. Установлено статистически значимое влияние длительности периода вегетации на число фертильных узлов ($r = 0,27...0,60$) и бобов ($r = 0,26...0,61$) на растении.

Ключевые слова: морфотипы гороха, коллекция ВИР, урожайность, элементы продуктивности, вегетационный период, корреляция

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Пислегина С. С., Четвертных С. А. Результаты изучения коллекционных сортообразцов гороха (*Pisum sativum* L.) по хозяйственно полезным признакам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):958–968. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.958-968>

Поступила: 10.08.2023

Принята к публикации: 09.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Results of the study of collection pea variety samples (*Pisum sativum* L.) according to agronomic traits

© 2023. Svetlana S. Pislegina✉, Svetlana A. Chetvertnykh

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

In 2015–2021, 58 collection pea variety samples of various morphotypes and ecological and geographical origin were studied in the field and laboratory conditions of the Falevsky Breeding Station (Kirov region) in order to identify sources of breeding valuable traits for the creation of new varieties. For leafy morphotype samples the Krasnoufimskij 93 variety was taken as standard, for leafless morphotype – Falevskij usatyj. According to meteorological conditions, the years of the research contrastingly differed: the hydrothermal coefficient (HTC) ranged from 0.82 (2016) to 2.57 (2019). The highest yield on average for the collection was formed in 2015 (HTC = 1.59) – 358 ± 15 g/m², the lowest in 2021 (HTC = 0.84) – 126 ± 4 g/m². The studied set of variety samples was mainly represented by medium-ripened (70–75 days on the average over the years of the research), medium-productive (201–250 g/m²) samples with a seed size of 150–250 g. There have been identified genotypes that exceeded the grain yield of standard varieties by 10% or more: Tigr (Germany) – 353 g/m², Stabil (Austria) – 336 g/m², Vyatich (Russia) – 308 g/m², Flora (Russia) – 286 g/m², G-21594 (Russia) – 283 g/m², etc. Variety samples with high indicators of productivity elements have been identified. The highest number of fertile nodes (4.4–4.6 pcs.) was noted in leafy samples Verkholyuzskaya, Ryabchik (Russia), Serio (the USA); the number of beans (6.0–6.1 pcs.) – in G-21594, Vyatich (Russia), Ps var vittelinum – (Germany); the number of grains (24.1–27.1 pcs.) – in the variety Verkholyuzskaya, G-21594, D-13560 (Russia). A higher seed productivity (5.2–5.6 g) was noted both in leafy morphotypes Grana (the USA), Omega (Moldova) and in leafless morphotype Stabil (Austria). It was found that the studied genotypes had high variability in grain yield, the number of fertile nodes, beans and

grains per plant, the mass of 1000 seeds changed slightly. The statistically significant influence of the duration of the growing season on the number of fertile nodes ($r = 0.27...0.60$) and the number of beans per plant ($r = 0.26...0.61$) was established.

Keywords: *pea morphotypes, VIR collection, yield, productivity elements, vegetation period, correlation*

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

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

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

For citations: Pislegina S. S., Chetvertnykh S. A. Results of the study of collection pea variety samples (*Pisum sativum* L.) according to agronomic traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):958-968. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.958-968>

Received: 10.08.2023

Accepted for publication: 09.11.2023

Published online: 20.12.2023

Горох (*Pisum sativum* L.) – важнейшая и наиболее распространённая зернобобовая культура, возделываемая во всех регионах Российской Федерации [1]. Производство зерна гороха является составной частью структуры посевных площадей зернового комплекса нашей страны и экономически выгодным ресурсом повышения эффективности сельскохозяйственного производства [2]. Данная культура – источник витаминов (А, С, РР, В1, В6 и др.) и микроэлементов (железо, кальций, магний, фосфор, селен и др.). Белок гороха отличается высокой биологической ценностью (75-85 %), легко усваивается животными и человеком, а по аминокислотному составу близок к белку животного происхождения [3, 4]. Содержание протеина в зерне достигает 18-35 %, в вегетативной массе – 12-25 %, поэтому возделывание гороха на продовольственные и кормовые цели позволяет обеспечить население высокобелковыми и экологически чистыми продуктами питания, а животноводство – кормами [5, 6]. Агротехническое значение гороха заключается в сохранении почвенного плодородия и снижении объёмов применения минеральных азотных удобрений за счёт способности культуры усваивать атмосферный азот и накапливать его в почве.

В настоящее время во всём мире наблюдается тенденция увеличения объёмов производства зерна гороха, однако площадей, занятых под этой культурой в данный момент, недостаточно для полноценного обеспечения кормопроизводства [7]. Основным условием увеличения урожайности и стабилизации производства гороха является создание и внедрение в производство сортов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим регионам страны [8]. Для повышения эффективности селекционной работы по созданию новых конкурентоспособных сортов гороха необходим поиск доноров хозяйственно ценных признаков

и изучение их взаимосвязей [9]. Ведущая роль в выведении новых сортов принадлежит генетическому материалу, источником которого служит коллекция Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) [10, 11]. Целенаправленное использование генетически и географически различного коллекционного материала позволит создать новые сорта гороха, отвечающие требованиям современного сельскохозяйственного производства [12, 13].

Цель исследований – выделить по комплексу хозяйственно ценных признаков перспективные сортообразцы из биоресурсной коллекции гороха для создания новых современных сортов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям северо-востока европейской части России.

Научная новизна – получены новые экспериментальные данные по продуктивности и продолжительности вегетационного периода коллекционных сортообразцов гороха. Выделены наиболее приспособленные к почвенно-климатическим условиям Кировской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2015-2021 гг. в лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур Фалёнской селекционной станции (филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). В полевых и лабораторных условиях изучали 58 генотипов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) различного морфотипа и эколого-географического происхождения. В качестве стандартов были приняты районированные сорта Красноуфимский 93 (для сортообразцов листочкового морфотипа) и Фалёнский усатый (для сортообразцов усатого морфотипа). Изучаемый материал представлен сортами из коллекции ВИР и местными перспективными селекционными линиями (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика сортообразцов гороха коллекционного питомника /
 Table 1 – Characteristics of pea variety samples of the collection nursery

Номер в каталоге ВИР / Number in VIR catalogue	Сортообразец / Variety sample	Происхождение / Origin
<i>Листочковый морфотип / Leafy morphotype</i>		
-	Красноуфимский 93, ст. / Krasnoufimskij 93, st.	Россия / Russia
к-9117	Корал / Koral	Украина / Ukraine
к-9037	Omega	Молдавия / Moldova
к-9194	Ji1027 Ramto	Великобритания / Great Britain
к-9103	Чишминский229 / Chishminskij229	Россия / Russia
к-73	Мелькак / Melkak	Сирия / Syria
к-63	Ps var vittelinum	Германия / Germany
-	Северянин / Severyanin	Россия / Russia
-	Г-21594/ G-21594	Россия / Russia
к-9106	Винэц-3 / Vinec-3	Украина / Ukraine
к-9235	Jezero	Югославия / Yugoslavia
к-9239	Moravac	Югославия / Yugoslavia
к-9260	Lasma	Латвия / Latvia
к-8001	Надмерслебен	Германия / Germany
к-9378	Линия 4 / Liniya 4	Россия / Russia
к-9364	Линия 11 / Liniya 11	Россия / Russia
-	Красивый / Krasivyy	Россия / Russia
-	Д-13560 / D-13560	Россия / Russia
-	Рябчик / Ryabchik	Россия / Russia
к-8145	L-1726	Швеция / Sweden
к-4988	Верхолузская / Verholuzskaya	Россия / Russia
к-9249	Темп / Temp	Россия / Russia
-	Г-24596 / G-24596	Россия / Russia
к-9121	НС-01-68 / NS-01-68	Болгария / Bulgaria
к-5187	Grana	США/ USA
к-5072	Serio	США/ USA
к-8867	Орёл 330/ Oryol 330	Россия / Russia
к-8552	WRH892ji843	Великобритания / Great Britain
к-5308	№40	Болгария / Bulgaria
и-515115	Tigra	Германия / Germany
<i>Усатый морфотип / Leafless morphotype</i>		
к-9384	Фалёнский усатый, ст. / Falyonskij usatyj, st.	Россия / Russia
к-9098	Губернатор / Gubernator	Россия / Russia
к-5266	Приазовский / Priazovskij	Россия / Russia
к-9123	Самариус / Samarius	Россия / Russia
к-9146	794/95	Россия / Russia
к-9104	Комбайновый 1 / Kombajnovyj 1	Украина / Ukraine
к-9125	Лавр / Lavr	Россия / Russia
к-9100	Заводоуковский / Zavodoukovskij	Россия / Russia
-	Азарт / Azart	Россия / Russia
к-9102	Ямальский / Yamalskij	Россия / Russia
к-9114	Плутон / Pluton	Франция / France
к-9118	Готик / Gotik	Австрия / Austria
к-9116	Демос / Demos	Россия / Russia
к-9115	Универ / Univer	Франция / France
к-9226	НС-01-135 / NS-01-135	Болгария/ Bulgaria
к-9254	АЗ-95-614 / AZ-95-614	Россия / Russia
к-9380	Готиевский / Gotievskij	Украина / Ukraine
к-9099	Ямал / Yamal	Россия / Russia
к-9279	Ортым / Ortyum	Россия / Russia
-	Указ / Ukaz	Россия / Russia
к-9408	Усатый Люпиноид / Usatyj Lyupinoid	Россия / Russia
к-9422	Ватан / Vatan	Россия / Russia
к-9420	Памяти Хангильдина / Pamyati Hangildina	Россия / Russia
-	Стабил / Stabil	Австрия / Austria
-	Ангела / Angela	Германия / Germany
-	Вятч / Vyatich	Россия / Russia
к-9366	Флора / Flora	Россия / Russia

Анализ сортообразцов, учёты и наблюдения проводили в соответствии с международным классификатором СЭВ¹ и методическими указаниями². Посев сортообразцов в зависимости от погодных условий проводили в I-II декадах мая селекционной сеялкой ССФК-7, норма высева – 120 всхожих семян на 1 м², расположение деленок систематическое, площадь – 2,5 м². Уборку осуществляли вручную с последующим обмолом на сноповой молотилке МСУ-1.

Математическая обработка экспериментальных данных проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову³ с помощью пакета селекционно-ориентированных программ AGROS версия 2.07.

По метеорологическим условиям годы исследований контрастно различались и имели значительные отклонения от среднеемноголетних показателей как по температурному режиму, так и количеству выпавших осадков и их распределению в течение вегетации гороха (рис. 1), что позволило выявить наиболее ценные генотипы для дальнейшего включения в селекционный процесс.



Рис. 1. Метеорологические данные вегетационных периодов, 2015-2021 гг. /

Fig. 1. Meteorological data of the growing seasons, 2015-2021

Наиболее благоприятные погодные условия в течение всего вегетационного периода сложились в 2015 г. (ГТК = 1,59). Метеорологические условия 2016 и 2021 гг. характеризовались как острозасушливые (ГТК = 0,82 и 0,84 соответственно), при этом среднесуточные температуры в течение всего периода вегетации были на 2-3 °C выше среднеемноголетних показателей. Такие условия оказали негативное влияние на формирование продуктивности гороха. В 2020 г. также наблюдался дефицит

влаги, однако среднесуточные температуры были на уровне среднеемноголетних значений, что в некоторой степени компенсировало негативное воздействие засухи (ГТК = 1,33). Периоды вегетации 2017 и 2019 гг. характеризовались низкими среднесуточными температурами и повышенной влагообеспеченностью (ГТК = 1,89 и 2,57 соответственно), что благоприятно отразилось на формировании урожайности гороха. Ливни, прошедшие в июне 2018 г., привели к значительной гибели всходов гороха, поэтому данные за этот год не учитывали.

¹Международный классификатор СЭВ рода *Pisum* L. Л., 1986. 52 с.

²Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: методические указания. СПб., 2010. 141 с.; Методика госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. М., 1985. 240 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.

Результаты и их обсуждение. Наиболее важным показателем эффективности производства гороха является урожайность зерна, которая не является постоянной величиной и формируется под влиянием различных факторов: метеорологических условий, технологии возделывания, а также зависит от индивидуальной реакции сортов, обусловленной взаимодействием генотипа и условий среды. Под воздействием различных факторов показатели продуктивности могут иметь большие пределы варьирования [14, 15]. В течение 2015-2021 гг. урожайность изучаемых генотипов значительно варьировала как по годам, так и сортообразцам. Сложившиеся метеорологические условия повлияли на формирование урожайности гороха и привели к существенным

различиям. В наиболее благоприятном по гидротермическим условиям 2015 г. урожайность в среднем по сортообразцам составила 358 г/м², в засушливых условиях 2021 г. – 126 г/м², почти в три раза ниже (табл. 2).

Изучаемые сортообразцы в среднем за 6 лет сформировали различную урожайность зерна, которая варьировала от 123 г/м² (L-1726, Швеция) до 353 г/м² (Tigra, Германия). У большинства сортов (33 шт., или 62 %), в т. ч. стандартных, отмечена урожайность на уровне 201-250 г/м², 6 образцов (8,6 %) имели 151-200 г/м², один сорт (1,7 %) – менее 150 г/м² (рис. 2).

По урожайности зерна в наших исследованиях выделились 14 сортообразцов, у которых прибавка к стандарту по данному признаку составила более 10 % (табл. 3).

Таблица 2 – Изменчивость урожайности зерна сортообразцов гороха в коллекционном питомнике /
Table 2 – Variability of grain yield of pea variety samples in the collection nursery

Год исследований / Years of research	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²			CV, %
	среднее / average	min	max	
2015	358±13	109	653	24,89
2016	158±7	40	298	23,25
2017	288±11	51	440	44,80
2019	324±15	74	646	35,55
2020	226±9	81	370	29,85
2021	126±4	56	177	21,10

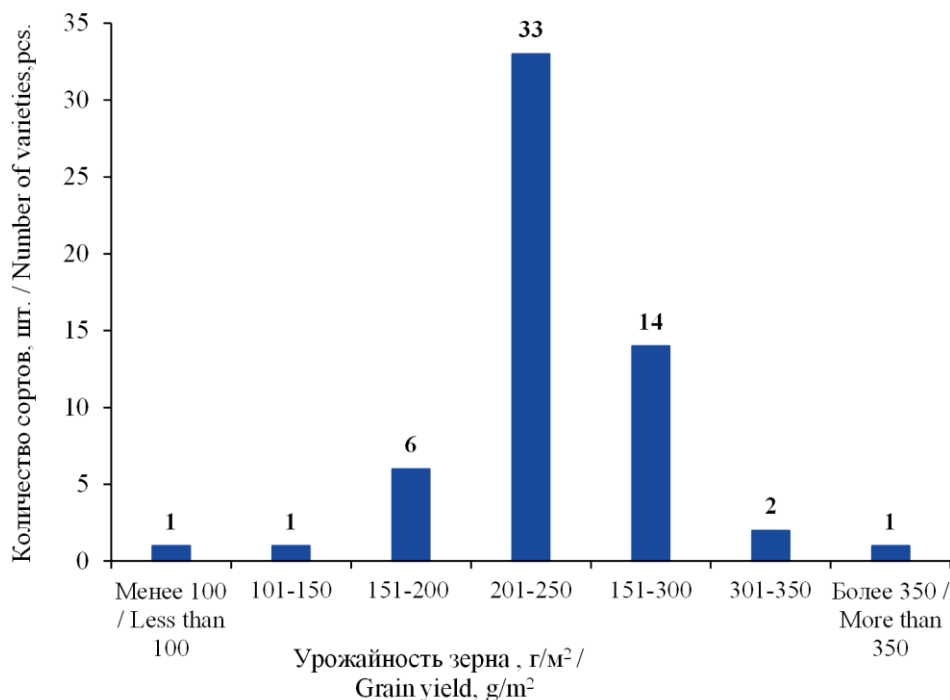


Рис. 2. Распределение сортообразцов коллекционного питомника по урожайности зерна /
Fig. 2. Distribution of variety samples of the collection nursery by grain yield

Таблица 3 – Характеристика лучших по урожайности зерна коллекционных сортообразцов гороха различного морфотипа (2015-2021 гг.) /

Table 3 – Characteristics of the best in grain yield collection pea variety samples (2015-2021)

Сортообразец / Variety sample	Урожайность зерна, г/м ² / Grain yield, g/m ²			CV, %	Вегетационный период, сут / Growing season, days	Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, points
	среднее / average	min	max			
Листочковый морфотип / Leafy morphotype						
Красноуфимский 93, ст. / Krasnoufimskij 93, st.	236±10	139	365	36	74	3,0
Tigra	353±12	168	640	56	74	4,0
Г-21594 / G-21594	283±7	166	370	25	76	3,0
Grana	279±10	119	573	57	72	4,0
Г-24596 / G-24596	267±8	124	369	41	75	4,0
Северянин / Severyanin	265±6	123	326	29	74	3,0
Орёл 330 / Oryol 330	263±10	110	451	50	74	4,3
Усатый морфотип / Leafless morphotype						
Фалёнский усатый, ст. / Falyonskij usatij, st.	231±9	123	356	42	74	4,5
Стабил / Stabil	336±12	160	653	63	78	4,5
Вятч / Vyatich	308±11	166	646	62	78	4,2
Флора / Flora	286±10	129	524	52	74	4,2
Ангела / Angela	283±11	109	524	54	75	4,5
Комбайновый 1 / Kombajnovyj 1	272±9	155	440	40	72	4,5
Указ / Ukaz	270±9	129	448	50	75	4,2
Ортым / Ortyum	258±8	128	453	47	72	4,5
Заводоуковский / Zavodoukovskij	256±7	103	344	48	75	4,5

Наряду с высокой урожайностью зерна в селекционной практике предпочтение отдаётся сортам с меньшим варьированием данного признака. Сортообразцы Lasma (Латвия) и Готиевский (Украина) имели урожайность зерна на уровне стандартных сортов (237 и 232 г/м² соответственно), однако отличались наиболее стабильным значением этого признака (CV = 17,1 и 19,6 %), что свидетельствует о более высокой приспособляемости генотипов к условиям окружающей среды.

Формирование урожайности зависит от многих абиотических и биотических факторов, влияющих на элементы продуктивности. Наибольшее действие на урожайность гороха оказывали показатели «число фертильных узлов, бобов и зёрен на растении», «семенная продуктивность» и «масса 1000 семян». Значения элементов продуктивности в наших исследова-

ниях зависели как от особенностей генотипа изучаемых образцов, так и от гидротермических условий вегетации и имели различный характер изменчивости (табл. 4.).

У сортов, превысивших стандарты по урожайности зерна, также отмечено преимущество по двум и более элементам продуктивности.

За годы исследований отмечена различная степень изменчивости элементов продуктивности как по годам, так и сортам. Сильное варьирование у всех сортообразцов отмечено по показателям «число фертильных узлов», «число бобов», «число зёрен», «семенная продуктивность», причём изменчивость данных признаков снижалась в засушливые годы (2016, 2021). Вариабельность признака «масса 1000 семян» изменялась незначительно по годам (17,68-21,62 %), что свидетельствует о существенном влиянии генотипа на данный признак.

Таблица 4 – Изменчивость элементов продуктивности коллекционных сортообразцов гороха /
 Table 4 – Variability of productivity elements of collection pea variety samples

Год исследований / Year of research		Число на растении, шт. / The number on the plant, pcs.			Масса, г / Weight, g	
		фертильных узлов / fertile nodes	бобов / beans	зёрен / grains	семян с растения / seeds per plant	1000 семян / 1000 seeds
2015	Среднее значение / Average value	2,67±0,13	4,10±0,17	17,2±0,9	4,13±0,20	253,0±6,0
	Min-max	1,41-6,70	2,31-7,90	7,9-37,8	2,0-6,7	117,0-389
	CV, %	35,65	31,46	41,74	37,12	17,78
2016	Среднее значение / Average value	2,06±0,05	3,3±0,09	13,2±0,5	2,84±0,10	222,0±5,2
	Min-max	1,10-2,81	2,10-5,52	9,0-24,4	1,5-4,6	102-324
	CV, %	19,08	21,57	21,02	26,36	18,19
2017	Среднее значение / Average value	3,59±0,17	5,53±0,28	17,4±1,1	4,00±0,25	233,0±6,6
	Min-max	1,21-6,70	2,20-8,20	10,2-42,1	1,6-8,3	112-343
	CV, %	35,80	40,25	49,16	48,83	21,62
2019	Среднее значение / Average value	4,02±0,17	7,11±0,26	28,7±1,1	6,50±0,28	228,0±7,4
	Min-max	1,70-7,10	4,0-11,9	11,0-47,4	2,1-11,0	112-361
	CV, %	31,69	28,50	28,56	32,69	21,56
2020	Среднее значение / Average value	2,89±0,10	4,79±0,14	19,2±0,7	3,93±0,16	209,1±5,2
	Min-max	1,20-4,30	3,2-7,1	15,1-47,4	2,4-8,3	127-315
	CV, %	25,39	21,97	28,32	30,12	19,02
2021	Среднее значение / Average value	1,52±0,03	2,08±0,05	7,1±0,2	1,54±0,51	219,4±5,1
	Min-max	1,10-2,70	1,9-3,0	4,1-15,0	1,1-2,5	106-327
	CV, %	16,05	17,55	25,87	25,31	17,68

По признаку «число фертильных узлов на растении» выделено пять образцов, превысивших стандарт Красноуфимский (3,6 шт.): Верхолузская – 4,5 шт., Рябчик – 4,4 шт., Serio – 4,1 шт., Д-13560 – 3,8 шт., Красивый – 3,8 шт. Большинство усатых образцов относятся к сортам детерминантного типа и формируют меньшее количество продуктивных узлов по сравнению с листочковыми формами. Максимальное значение данного признака среди усатых сортообразцов отмечено у Вятки (3,5 шт.), у стандарта Фалёнский усатый – 2,6 шт. В среднем по коллекции данный показатель составил 2,8 шт. Степень варьирования признака «число фертильных узлов» находилась в пределах от 19,07 % (сорт Рябчик) до 63,07 % (сорт Темп).

По признаку «число бобов на растении» (шт.) выделены следующие сортообразцы: Г-21594 – 6,1, Вятка – 6,0, Ps var vittelinum – 6,0, Omega – 5,9, Темп – 5,9, Орёл 330 – 5,8, Верхолузская – 5,7, Д-13560 – 5,6, Северянин – 5,4,

Serio – 5,5, Grana – 5,3. У стандарта Красноуфимский 93 данный показатель составил 4,8 шт., стандарта Фалёнский усатый – 4,9 шт., в среднем по коллекции – 4,5 шт. Все изучаемые сортообразцы отличались высокой вариабельностью признака «число бобов на растении» – от 25,5 до 65,5 %. Наименьшие пределы варьирования данного признака отмечены у сортов Рябчик (25,5 %) и Г-24596 (27,0 %).

По признаку «число зёрен на растении» (шт.) выделены сортообразцы: Верхолузская – 27,1, Г-21594 – 24,4, Д-13560 – 24,1, Вятка – 24,0, Serio – 23,5, Ps var vittelinum – 23,1, Стабил – 21,6, АЗ-95-614 – 21,6, Темп – 21,1, Г-24596 – 21,1, Lasma – 20,9, Omega – 20,4, у стандартов Красноуфимский 93 и Фалёнский усатый – 17,9 и 15,6 шт. соответственно, в среднем по коллекции – 17,1 шт. Изменчивость сортообразцов по данному признаку находилась в пределах от 26,6 % (Г-24596) до 78,50 % (Мир-3).

Наиболее высокая семенная продуктивность (г) получена у сортообразцов: Стабил – 5,6, Grana – 5,3, Omega – 5,2, Г-21594 – 4,8, Линия 11 – 4,8, Lasma – 4,8, Готиевский – 4,7, Аз-95-614 – 4,5, Ангела – 4,4, Фалёнский усатый – 4,4, Темп – 4,3, Tigra – 4,2, Г-24596 – 4,2, Флора – 4,1 и других. У стандартов Красноуфимский 93 и Фалёнский усатый масса семян с растения составила соответственно 3,3 и 4,4 г, в среднем по коллекции – 3,0 г. Вариабельность данного признака у изучаемых сортообразцов составила от 27,8 (L-1726) до 80,2 % (Мир-3).

Масса 1000 семян является важным технологическим признаком сорта. Данный показатель имеет значение при выборе направления селекции гороха. Сорта зернофуражного назначения преимущественно имеют крупное выравненное зерно, что обеспечивает больший выход продукции. В селекции сортов укосного направления преимущество отдают сортам с мелкими семенами, что позволяет снижать норму высева и увеличивать посевные площади.

Согласно классификатору СЭВ⁴, очень мелким считается зерно с массой 1000 семян менее 51 г, мелким – 51-150 г, средним – 151-250 г, крупным – 251-350 г, очень крупным – более 350 г. Масса 1000 семян в среднем по коллекции составила 229 г, варьировала от 111 до 343 г. У 38 сортообразцов (66 %) масса 1000 семян отмечена в пределах от 151 до 250 г, три сортообразца (5 %) имели менее 150 г, у 20 сортов (34 %) – более 251 г. Крупное зерно сформировали образцы Tigra (343 г), Ji1027 Ramto (296 г), Корал (289 г), Заводоуковский (287 г), Ортюм (271 г), Универ (266 г), Ангела (266 г), Памяти Хангильдина (259 г). Наиболее низкая масса 1000 семян получена у сортов Верхолузская (111 г), L-1726 (129 г). В среднем масса 1000 семян сортообразцов с усатым типом листа (238 г) была выше, чем у листочковых образцов (218 г). Величина данного признака стандартов Красноуфимский 93 и Фалёнский усатый составила соответственно 184 и 255 г.

Вариабельность признака «масса 1000 семян» у изучаемых сортообразцов была небольшой относительно других признаков ($CV = 5,4-15,6\%$). По данному признаку 26 сортообразцов имели коэффициент вариации менее 10 %, высокой стабильностью отличались Флора, Готиевский, Универ, Лавр, Г-24596 – 5,4, 7,6, 7,7, 8,1 и 8,4 % соответственно.

Проведение корреляционного анализа позволило определить взаимосвязи между

урожаем зерна и составляющими её элементами продуктивности: «число фертильных узлов», «число бобов», «число зёрен», «масса семян с растения», «масса 1000 семян». Во все годы исследований установлена положительная достоверная связь средней степени между урожайностью и массой семян с растения ($r = 0,29...0,50$, $p \leq 0,05$). В наиболее благоприятные по погодным условиям годы (2015, 2019) отмечена положительная корреляция средней степени с массой 1000 семян ($r = 0,46$ и $0,38$ соответственно, $p \leq 0,05$). В остальные годы связь между данными признаками была несущественной ($r = -0,17...0,15$). Достоверная корреляция средней степени между урожайностью и числом фертильных узлов отмечена в 2017 г. ($r = 0,40$, $p \leq 0,05$), в остальные годы связь между данными признаками отсутствовала ($r = 0,01...0,07$). Взаимосвязь между урожайностью и числом бобов была незначительной во все годы исследований ($r = -0,07...0,22$). Корреляция средней степени между урожайностью и числом зёрен на растении отмечена в 2015 г., 2017 и 2019 гг. ($r = 0,38$; $0,50$ и $0,41$ соответственно, $p \leq 0,05$), в 2016 г., 2017 и 2021 гг. между данными признаками установлена слабая зависимость ($r = -0,08...0,14$).

Между отдельными элементами продуктивности также установлены корреляционные связи различной степени. Существенные взаимосвязи ($p \leq 0,01$) отмечены между числом фертильных узлов и бобов на растении ($r = 0,60...0,92$), семенной продуктивностью и числом зёрен ($r = 0,57...0,88$). Обратная корреляционная зависимость различной степени отмечена между массой 1000 семян и числом фертильных узлов ($r = -0,15...-0,48$), числом бобов ($r = -0,17...-0,41$), числом зёрен ($r = -0,06...-0,59$).

Продолжительность вегетационного периода является важным биологическим свойством растений гороха, влияющим как на ареал распространения сорта, так и на возможность использования в качестве исходного материала при создании новых сортов [16]. Данный признак обусловлен как генетическими особенностями сорта, так и влиянием погодных условий за вегетационный период. Период «всходы-созревание» варьировал в зависимости от генотипических и агрометеорологических особенностей от 58 до 98 суток. У изучаемых сортообразцов отмечено снижение продолжительности вегетационного периода в жарких и засушливых условиях. Самый короткий вегетационный

⁴Международный классификатор СЭВ рода *Pisum* L. 1986.

период отмечен в 2021 г. – в среднем 60 суток (пределы варьирования 55-67 суток), наиболее продолжительный в 2019 г. – в среднем 90 суток (81-98 суток). В условиях Волго-Вятского региона предпочтительны сорта со средней продолжительностью вегетационного периода, т. к. скороспелые сорта формируют меньшее количество фертильных узлов и бобов на растении; у позднеспелых сортов есть риск попадания под влияние неблагоприятных погодных условий и патогенных факторов.

Продолжительность вегетационного периода у изучаемых сортообразцов в среднем составила от 66 до 79 суток. Наиболее короткий период вегетации отмечен у сортообразцов 794/95 (66 суток), Приазовский (68 суток) и Чибис (68 суток), более продолжительный (79 суток) – у Мелька. Большинство сортообразцов отнесены к среднеспелой группе с продолжительностью вегетационного периода 70-75 суток (рис. 3).

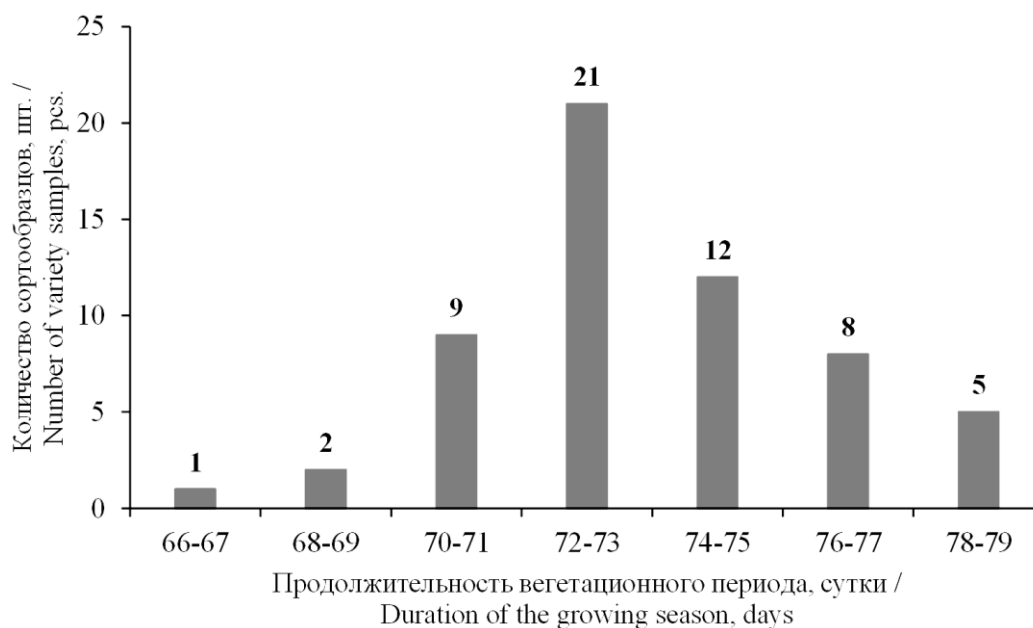


Рис. 3. Распределение коллекционных сортообразцов по продолжительности вегетационного периода (в среднем за 2015-2021 гг.) /

Fig. 3. Distribution of collection variety samples by the duration of the growing season (on average for 2015-2021)

С целью установления влияния продолжительности вегетационного периода на урожайность и показатели элементов продуктивности был проведён корреляционный анализ. Корреляционная связь продолжительности вегетационного периода средней степени выявлена с числом фертильных узлов ($r = 0,27...0,60$) и числом бобов ($r = 0,26...0,61$), максимальные значения коэффициентов корреляции статистически значимы при $p \leq 0,01$. Не отмечено существенной взаимосвязи с урожайностью зерна ($r = 0,03...0,17$) и семенной продуктивностью ($r = 0,05...0,18$). Влияние периода вегетации на массу 1000 семян было неоднозначным: в засушливых условиях 2016 и 2021 гг. отмечена обратная корреляционная зависимость средней степени ($r = -0,26...-0,31$), в 2020 г. связь была средней положительной ($r = 0,36$) на 5%-ном уровне значимости. В 2015, 2017 и

2019 гг. существенная взаимосвязь между данными признаками отсутствовала ($r = 0,05...0,13$).

Заклучение. В результате проведённых исследований по оценке коллекционных сортообразцов гороха в условиях Кировской области выделены источники хозяйственно ценных признаков. Наиболее высокая урожайность зерна (г/м^2) получена у сортообразцов: Tigra (353), Стабил (336), Вятч (308), Флора (286), Г-21594 (283).

Выделены сортообразцы с высокими значениями элементов продуктивности: Верхолузская, Г-21594, Д-13560, Serio, Grana, Вятч, Стабил, Omega и т. д. Большинство сортообразцов имели средние по крупности семена (масса 1000 семян от 151 до 250 г). Высокая изменчивость у сортообразцов отмечена по показателям «урожайность зерна», «число фертильных узлов, бобов и зёрен на растении», «семенная продук-

тивность», низкая изменчивость – у признака «масса 1000 семян».

Большинство сортообразцов имели продолжительность вегетационного периода 70-75 суток, т. е. относятся к среднеспелым сортам.

Выделившиеся по ряду признаков сортообразцы представляют интерес для дальнейшей селекционной работы в качестве исходных форм для создания новых сортов гороха.

Список литературы

1. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунуова В. С. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018;(2(26)):4-9. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008> EDN: UQRBKK
2. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):381-387. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.041> EDN: FAXQBC
3. Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Майстренко О. А. Изучение биохимических свойств муки зернобобовых культур (горох, соя), физических и хлебопекарных показателей теста смесей с пшеничной мукой. Зерновое хозяйство России. 2022;(1):65-69. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-65-69> EDN: STVXZH
4. Meurer M. C., De Souza D., Damasceno L., Marczak F. Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). Journal of Food Engineering. 2020;265:109688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109688>
5. Антипова Л. В., Толпыгина И. Н., Успенская М. Е., Попов В. И. Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства растительных белков. Гигиена и санитария. 2015;94(9):51-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25462657> EDN: VLFENP
6. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунуова Н. В., Сидоренко В. С., Хмызова Н. Г. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(4(36)):5-17. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11198> EDN: BPRYFH
7. Гурьев Г. П., Васильчиков А. Г., Наумкин В. В. Сравнительное изучение симбиотической азотфиксации у гороха и сои. Земледелие. 2016;(5):17-19.
8. Зотиков В. И. Отечественная селекция зернобобовых и крупяных культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(3(35)):12-20. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11179> EDN: WBTNVU
9. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н. Изучение взаимосвязей урожайности с морфобиологическими признаками коллекционных образцов гороха посевного. Зерновое хозяйство России. 2020;(3(69)):3-7. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-3-7> EDN: BXFPJG
10. Вишнякова М. А. Коллекция генетических ресурсов зернобобовых ВИР как неотъемлемая составляющая основы продовольственной, экологической и биоресурсной безопасности. Зернобобовые и крупяные культуры. 2017;(3(23)):29-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29924503> EDN: ZEVUEF
11. Синюшин А. А., Аш О. А., Хартина Г. А. Генетическая коллекция гороха посевного (*Pisum sativum* L.) кафедры генетики биологического факультета МГУ и её применение в научных исследованиях. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2016;177(3):47-60. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-3-47-60> EDN: WWJVHN
12. Лепехов С. Б. Методы подбора пар для скрещиваний в селекции на урожайность у самоопыляющихся культур. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017;178(4):76-89. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-4-76-89> EDN: YUZUJI
13. Вишнякова М. А., Александрова Т. Г., Буравцева Т. В., Бурляева М. О., Егорова Г. П., Семёнова Е. В., Сеферова Е. В., Сеферова И. В., Суворова Г. Н. Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВИР и его использование в отечественной селекции. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(2):109-123. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-109-123> EDN: KNEONG
14. Филатова И. А. Формирование элементов продуктивности гороха в зависимости от погодных условий вегетационного периода. Земледелие. 2018;(6):44-47. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10612> EDN: YOEGQH
15. Kučerová J. Some correlation between parameters of winter wheat technological quality. Acta Univ. Arg. Silvicult. Mendelianae – Brunensis. 2006;54(1):23-30. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun200654010023>
16. Коробов А. П., Коробова Н. А., Лысенко А. А., Шапошникова Ю. В. Вегетационный период коллекционных образцов гороха. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016;(3(59)):52-55. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26454960> EDN: WGXTOP

References

1. Zotikov V. I., Sidorenko V. S., Gryadunova V. S. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2018;(2(26)):4-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>

2. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):381-387. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.041>

3. Shabolkina E. N., Anisimkina N. V., Maistrenko O. A. The study of biochemical properties of legume flour (peas, soybeans), physical and baking indicators of the dough from mixtures with wheat flour. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2022;(1):65-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-65-69>

4. Meurer M. C., De Souza D., Damasceno L., Marczak F. Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*. 2020;265:109688.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109688>

5. Antipova L. V., Tolpygina I. N., Uspenskaya M. E., Popov V. I. Hygienic aspects and prospects for domestic production of vegetable proteins. *Gigiena i sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2015;94(9):51-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25462657>

6. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V., Sidorenko V. S., Khmyzova N. G. Development of production of leguminous and groat crops in Russia based on the use of selection achievements. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2020;(4(36)):5-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11198>

7. Gurjev G. P., Vasilchikov A. G., Naumkin V. V. Comparative study of symbiotic nitrogen fixation of pea and soybean. *Zemledelie*. 2016;(5):17-19. (In Russ.).

8. Zotikov V. I. Domestic breeding of leguminous and cereal crops. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2020;(3(35)):12-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11179>

9. Ashiev A. R., Khabibullin K. N. The study of correlation between productivity and morphobiological traits of the collection peas samples. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(3):3-7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-3-7>

10. Vishnyakova M. A. VIR collection of genetic resources of grain legumes as an incorporative part of food, ecological and bio-resource safety. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2017;(3(23)):29-32. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29924503>

11. Sinjushin A. A., Ash O. A., Khartina G. A. Germplasm collection of a garden pea (*Pisum sativum* L.) and its application in researches. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2016;177(3):47-60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-3-47-60>

12. Lepekhov S. B. Methods of choosing parental pairs for crosses in the breeding of self-pollinating crops for yield. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2017;178(4):76-89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-4-76-89>

13. Vishnyakova M. A., Aleksandrova T. G., Buravtseva T. V., Burlyaeva M. O., Egorova G. P., Semanova E. V., Seferova I. V., Suvorova G. N. Species diversity of the VIR collection of grain legume genetic resources and its use in domestic breeding. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019;180(2):109-123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-109-123>

14. Filatova I. A. Formation of productivity elements of pea depending on weather conditions of the vegetation period. *Zemledelie*. 2018;(6):44-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10612>

15. Kučerová J. Some correlation between parameters of winter wheat technological quality. *Acta Univ. Arg. Silvicult. Mendelianae – Brunensis*. 2006;54(1):23-30. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun200654010023>

16. Korobov A. P., Korobova N. A., Lysenko A. A., Shaposhnikova Yu. V. Vegetation period of collection pea samples. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016;(3(59)):52-55. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26454960>

Сведения об авторах

✉ **Пислегина Светлана Сергеевна**, научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудниченко», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0553-7707>

Четвертных Светлана Александровна, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудниченко», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5198-7106>

Information about the authors

✉ **Svetlana S. Pislegina**, researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0553-7707>

Svetlana A. Chetvertnykh, junior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5198-7106>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние продолжительности периода хранения аэропонных миниклубней на рост и развитие сортов картофеля в полевых условиях

© 2023. К. А. Колошина✉, Н. И. Полухин, К. В. Авдеенко

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», пос. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

При использовании миниклубней в качестве посадочного материала в семеноводстве существует проблема изреженности всходов, что связано с различной продолжительностью периода хранения миниклубней (от сбора с аэропонной установки до появления первых единичных всходов). Цель исследований – установить влияние продолжительности периода хранения аэропонных миниклубней на рост, развитие и продуктивность различных сортов картофеля в полевых условиях. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в условиях Новосибирской области на черноземе выщелоченном среднесуглинистом. Объекты исследований – аэропонные миниклубни раннеспелых (Юна, Терра, Легенда) и среднеспелых (Златка, Сокур) сортов картофеля декабрьского, мартовского и апрельского сроков сбора. Установлено, что период хранения миниклубней различных сортов составил при сборе с аэропонной установки в декабре 179–184 суток, марте – 91,7–118,3, апреле – 71,3–99,7 суток. Использование миниклубней в качестве посадочного материала при выращивании высококачественных семян картофеля оправдано при декабрьском и мартовском сроках сбора. Растения картофеля от декабрьского посадочного материала имели всхожесть 98,5 %, всходили на 20 суток раньше, имели большую среднюю площадь листьев, начальный урожай на первую дату учета в 2,6 раза и конечный в 1,4 раза больше, чем растения от мартовского посадочного материала. Миниклубни декабрьского срока обеспечили наибольшую урожайность (22,8 т/га) и выход семенных клубней (76,3 %), при мартовском сроке сбора соответствующие значения были меньше на 6,8 т/га и 15,9 %, при апрельском – на 15,9 т/га и 34,0 %. Миниклубни апрельского срока сбора с периодом хранения 91,7–118,3 суток использовать в качестве посадочного материала нецелесообразно, так как по большинству изученных сортов урожай получить невозможно. У сортов Сокур (среднеспелый) и Терра (раннеспелый) отмечена наибольшая урожайность 20,4 и 19,5 т/га.

Ключевые слова: семеноводство картофеля, полевая, лабораторная всхожесть, период покоя, сорт, урожайность, аэропоника

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (тема № FWNР-2022-0033).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Колошина К. А., Полухин Н. И., Авдеенко К. В. Влияние продолжительности периода хранения аэропонных миниклубней на рост и развитие сортов картофеля в полевых условиях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):969–979. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.969-979>

Поступила: 26.09.2023

Принята к публикации: 17.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

The influence of the duration of the storage period of aeroponic minitubers on the growth and development of potato varieties in field conditions

© 2023. Kristina A. Koloshina✉, Nikolay I. Polukhin, Konstantin V. Avdeenko

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation

When using minitubers as planting material in seed production, there is a problem of sparseness of seedlings, which is associated with different duration of the storage period of minitubers (since harvesting from an aeroponic installation to the appearance of the first single shoots). The purpose of the research is to establish the influence of the duration of the storage period of aeroponic minitubers on the growth, development and productivity of various potato varieties under field conditions. The research was carried out in 2020–2022 in the conditions of the Novosibirsk region, the soil is leached medium loamy chernozem. The objects of the research are aeroponic minitubers of early-ripening (Yuna, Terra, Legenda) and mid-ripening (Zlatka, Sokur) potato varieties for December, March and April harvesting periods. It was established that the storage period of minitubers of various varieties was 179–184 days when collected from an aeroponic installation in December, 91.7–118.3 days

in March, 71.3-99.7 days in April. The use of minitubers as planting material for growing high-quality potato seeds is justified during the December and March harvesting periods. Potato plants from the December planting material had a germination rate of 98.5 %, germinated 20 days earlier, had a larger average leaf area, the initial yield on the first recording date was 2.6 times greater and the final yield was 1.4 times greater than the plants from the March planting material. Minitubers of the December period provided the highest yield (22.8 t/ha) and the yield of seed tubers (76.3 %), with March harvest time the corresponding values were lower by 6.8 t/ha and 15.9 %, with April harvest period – by 15.9 t/ha and 34.0 %. It is not practical to use minitubers of the April harvest time with a storage period of 91.7-118.3 days as planting material, since it is impossible to obtain yield for the most of the studied varieties. The Sokur (mid-ripening) and Terra (early-ripening) varieties showed the highest yields of 20.4 and 19.5 t/ha.

Key words: potato seed production, field, laboratory germination, dormancy period, variety, yield, aeroponic

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 Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FWNr-2022-0033).

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

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

For citation: Koloshina K. A., Polukhin N. I., Avdeenko K. V. The influence of the duration of the storage period of aeroponic minitubers on the growth and development of potato varieties in field conditions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):969-979. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.969-979>

Received: 26.09.2023

Accepted for publication: 17.11.2023

Published online: 20.12.2023

Возрастающая потребность в качественном посадочном материале картофеля способствует появлению новых технологий получения миниклубней. Объем производства миниклубней картофеля с использованием весенне-летних теплиц составляет на сегодня около 80 %, с применением аэропонной (воздушной) и гидропонной (водной) технологий – около 20 %.

Трудности эксплуатации теплиц (работа с грунтами, ежегодное укрытие их, вторичное заражение и, самое главное, низкий коэффициент размножения семенного материала) заставляют искать альтернативные способы. Аэропонные технологии производства миниклубней, как исходного материала при производстве безвирусных семян, прочно вошли в современное семеноводство картофеля и составляют серьезную конкуренцию традиционным способам [1, 2, 3]. Преимущества использования аэропонной технологии очевидны: она позволяет получать здоровый материал, обеспечивает непрерывный процесс выращивания миниклубней вне зависимости от погодных и климатических условий внешней среды [4, 5]. Более того, можно получать больший урожай с меньшей площади, контролировать процесс выращивания, исключить замену и стерилизацию грунта, обработку против болезней и вредителей. Коэффициент размножения у ранних сортов картофеля при данном способе выращивания может достигать 1:45, у поздних – 1:94 [6].

При использовании миниклубней в качестве посадочного материала и закладке питомника в семеноводстве сталкиваются с проблемой изреженности всходов отдельных партий. Последнее связано с различной продолжительностью периода покоя миниклубней (количество

дней от снятия миниклубней с установки до получения первых ростков), на что обращали внимание специалисты в этой области [7, 8, 9, 10]. Период покоя начинается с появлением клубней на растении. При круглогодичной эксплуатации аэропонных установок миниклубни, полученные в зимний и весенний периоды производства, к моменту посадки в грунт, как правило, не успевают пройти период покоя, что существенно сказывается на всхожести и их дальнейшей продуктивности [11]. Вывести миниклубни из периода покоя довольно сложно, а порой и невозможно. Исследований по изучению периода покоя миниклубней и механизмов, контролирующих этот процесс, в нашей стране и за ее пределами очень мало, несмотря на важность темы. Известно, что состояние периода покоя определяется генетическим фоном (сортом), степенью зрелости клубней, условиями окружающей среды, температурой во время роста и хранения, биохимическими процессами, происходящими во время покоя (хранения миниклубней). Следует учитывать, что оптимальное состояние миниклубней, при котором прерывается период покоя, с учетом перечисленных факторов соответствует периоду хранения не менее 90-110 дней [12, 13, 14, 15].

Получение полноценных всходов миниклубней в полевых условиях определяется продолжительностью периода покоя. При более продолжительном периоде хранения миниклубни успевают пройти период покоя и быстрее прорастают в поле и, наоборот, укороченный период хранения приводит к потере и изреженности всходов, так как период покоя миниклубней еще не завершен [16].

Цель исследований – установить влияние продолжительности периода хранения аэропонных миниклубней, используемых в качестве посадочного материала, на рост, развитие и продуктивность различных сортов картофеля в полевых условиях.

Новизна исследований – установлена зависимость роста, развития и продуктивности сортов картофеля разных сроков созревания в полевых условиях от продолжительности периода хранения аэропонных миниклубней, используемых в качестве исходного материала в семеноводстве.

Материал и методы. Исследования проводили в 2020-2022 гг. Объекты исследований – миниклубни пяти сортов картофеля, полученные на аэропонных установках «Урожай». В изучение включены сорта разных сроков созревания: Юна (ФИЦ ИЦиГ СО РАН), Терра (ООО ССК «Уральский Картофель»), Легенда (ФГБНУ УрФАН ИЦиГ СО РАН) – раннеспелые; Златка (ФИЦ ИЦиГ СО РАН), Сокур (ФИЦ ИЦиГ СО РАН) – среднеспелые.

Сбор миниклубней проводили в три срока: 15 декабря, 15 марта и 15 апреля. В опыте использовали миниклубни одного сбора. В соответствии с техническими условиями ГОСТ 33996-2016¹, размер миниклубней составил 30-40 мм в диаметре. Убранные миниклубни хранили в холодильнике при температуре 3...4 °С. Миниклубни всех сроков сбора ко времени посадки имели проклюнувшиеся глазки. За две недели до посадки в поле материал проращивали на свету при комнатной температуре. Продолжительность периода покоя рассчитывали от даты сбора миниклубней с аэропонной установки до появления первых единичных всходов (ростков).

Полевые исследования проводили в 2020-2022 гг., почвенный покров опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, рН_{сол} – 5,1...6,2. Глубина гумусового горизонта около 40 см. Содержание гумуса в верхнем слое составляет 5,8-7,3 % (по Тюрину), Р₂О₅ (по Чирикову) – 118-460 мг/кг, К₂О (по Чирикову) – 96-257 мг/кг почвы.

Посадку проводили вручную в период с 31 мая по 1 июня. Миниклубни высаживали в 4-кратной повторности, площадь делянки 4,9 м², на делянке 20 растений. Делянок одного сорта с учетом повторности – 12, всего 60 по

5 сортам. Расположение делянок в 2 яруса по 30 делянок. Схема посадки 70х35 см.

Наблюдения и учеты в полевом опыте проводили в соответствии с методическими указаниями². Отмечали динамику появления единичных всходов (через 5 суток) в течение 30 суток, наступление фенофаз, отслеживали динамику формирования площади листьев в возрасте растений 20, 40, 60 суток от фазы «массовые всходы» методом высечек с учетом возрастного и сортового изменения веса высечек. Пробные копки для наблюдения за динамикой накопления урожая проводили через 10, 20, 30 суток, определяли количество клубней, их вес и фракционный состав (0-28 мм, 28-60, более 60 мм по наибольшему диаметру). Уборка урожая проведена 30 августа. Урожай учитывали в 4-кратной повторности путем взвешивания массы клубней с делянки. Статистическая обработка проведена с применением двухфакторного дисперсионного анализа³: фактор А – сорт, фактор В – срок уборки. Для проведения дисперсионного анализа использована программа Snedecor V5.

Результаты и их обсуждение. В среднем за три года основным фактором, влияющим на наступление и прохождение фенологических фаз являлся срок сбора миниклубней (фактор В), который оказывал существенное влияние на количество всходов и продолжительность межфазных периодов вегетации (табл. 1).

Лучшим сроком сбора отмечен декабрьский, при котором для получения массовых всходов из миниклубней сорта Юна потребовалось 18,0 суток, Сокур – 21,0, Златка – 20,3, Легенда – 20,7, Терра – 23,0 сутки. У миниклубней мартовского срока сбора всходы у сорта Юна появились позже на 14,7 суток, Сокур – 16,3, Златка – 26,7, Легенда – 25,3 и на 17,3 суток у сорта Терра. У миниклубней апрельского срока этот период увеличился, по сравнению с декабрьским, на 46,0 (Юна), 28,0 (Сокур), 44,7 (Златка), 15,0 (Терра) суток. Исключение составил сорт Легенда, который к моменту уборки (30 августа) не дал массовых всходов. Продолжительность интенсивного формирования урожая в период «цветение-уборка» у растений, полученных из миниклубней апрельского срока уборки, по сравнению с декабрьским, сократился у сорта Юна на 24,7 суток, Сокур – 24,0, Златка – 33,7, Терра – на 31,0 сутки.

¹ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. М.: Стандартинформ, 2020. 35 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/63695/>

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2015. С. 9-16

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

Таблица 1 – Динамика появления всходов и продолжительность межфазных периодов вегетации в зависимости от сорта картофеля и срока сбора аэропонных миниклубней /
Table 1 – The dynamics of the emergence of seedlings and the duration of interphase periods of vegetation, depending on the potato variety and harvest time of aeroponic minitubers

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Срок сбора (фактор В) / Harvest time (factor B)	Посадка-единичные всходы / Planting-single shoots		Кол-во всходов* через 30 суток, шт. / Number of shoots* after 30 days, pcs.	Посадка- массовые всходы / Planting- mass shoots	Посадка- цветение / Planting- flowering	Цветение- уборка / Flowering- harvesting
		сут / days	кол-во всходов, шт. / number of shoots, pcs.				
Юна / Yuna	Декабрь / December	11,0	1,7	20,0	18,0	49,0	48,7
	Март / March	11,7	2,0	18,0	32,7	61,3	36,0
	Апрель / April	35,3	1,3	13,3	64,0	76,5	24,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		19,5	1,8	17,1	38,2	60,1	37,5
Сокур / Sokur	Декабрь / December	13,0	2,3	19,7	21,0	60,3	37,0
	Март / March	18,0	2,0	18,0	37,3	70,3	27,3
	Апрель / April	25,3	1,0	15,3	49,0	82,0	13,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		18,7	1,8	16,5	34,2	69,4	28,1
Златка / Zlatka	Декабрь / December	13,3	1,3	19,7	20,3	60,7	36,7
	Март / March	18,7	1,0	16,7	47,0	74,7	23,0
	Апрель / April	43,0	1,3	12,0	65,0	89,0	3,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		24,9	1,2	15,7	43,7	70,0	27,5
Легенда / Legenda	Декабрь / December	14,0	1,7	19,0	20,7	60,0	37,7
	Март / March	15,7	1,0	15,3	46,0	75,7	21,7
	Апрель / April	53,7	1,0	8,7	-	-	-
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		27,7	1,2	15,4	33,3	67,8	29,7
Терра / Terra	Декабрь / December	16,0	2,7	19,0	23,0	53,7	44,0
	Март / March	20,0	2,0	17,3	40,3	69,0	28,3
	Апрель / April	34,3	2,3	14,7	38,0	79,0	13,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		23,3	2,3	17,0	33,5	63,5	34,0
Среднее (фактор В) / Medium (Factor B)	Декабрь / December	13,5	1,9	19,5	20,6	56,7	40,8
	Март / March	12,8	1,6	17,1	40,7	70,5	27,3
	Апрель / April	38,3	1,4	12,8	54,0	81,6	13,2
HCP ₀₅ / LSD ₀₅ фактор А / factor A		0,40	0,16	0,23	0,62	0,61	0,49
фактор В / factor B		0,31	0,12	0,18	0,48	0,48	0,38
AB / AB		0,70	0,27	0,40	1,07	1,06	0,86
част. разл. / partial differences		0,31	0,09	0,14	0,37	0,39	0,29

*Из 20 посаженных растений / Of the 20 plants planted

Последующие фазы роста и развития растений картофеля, их наступление и продолжительность отражали влияние первого этапа вегетации «посадка-единичные всходы». У растений, полученных из миниклубней декабрьского срока сбора, клубнеобразование наступало раньше – через 49,0-60,7 суток после появления

всходов в зависимости от сорта. Клубнеобразование при мартовском сроке уборки миниклубней начиналось позднее – через 61,3-75,7 суток после появления всходов, при апрельском – через 76,3-89,0 суток, у сорта Легенда период «клубнеобразование» не наступил.

У миниклубней мартовского срока уборки фаза «массовые всходы» по сортам наступила через 32,7 (Юна), 37,3 (Сокур) и 40,3 (Терра), 46,0 (Легенда) и 47,0 (Златка) суток.

По миниклубням апрельского срока сбора выделен сорт Сокур, массовые всходы которого наступили через 49,0 суток. Фаза «массовые всходы» (75 % и более, то есть более 15 всходов от 20 высаженных миниклубней) отмечена у всех сортов при декабрьском и мартовском сроках сбора миниклубней, при апрельском – только у сорта Сокур.

Результаты дисперсионного анализа показали, что по продолжительности межфазного периода «посадка-массовые всходы» сортов Легенда и Терра значимо не различались ($HCp_{05}(A) = 0,62$), по остальным сортам выявлены существенные различия.

По мере сокращения периода хранения миниклубней при различных сроках сбора существенно изменялась продолжительность периода «цветение-уборка». По миниклубням декабрьского срока сбора этот период в зависимости от сорта составил 36,7-48,7 суток, по мартовскому сроку – 21,7-36,0 и апрельскому (по которым получен урожай) – от 3,0 до 24,0 суток.

Период «посадка-начало клубнеобразования» (фаза цветения) по миниклубням апрельского срока сбора длился у сформировавшихся растений 76,5-89,0 суток (табл. 1) с существенной разницей по сортам ($HCp_{05}(A) = 0,61$) и срокам сбора ($HCp_{05}(B) = 0,48$). У сортов Златка и Легенда этот период не наступил (табл. 3).

Период клубнеобразования (фазы «цветение-уборка») у растений от миниклубней мартовского и апрельского срока сбора сдвинулся на более поздние сроки и сократился соответственно на 13,4 и 27,4 суток относительно декабрьского. Растения, посаженные апрельским посадочным материалом, у которых фаза «цветение» отсутствовала, к уборке имели единичные клубни размером менее 10 мм.

В итоге, календарный период от сбора миниклубней с аэропной установки до их посадки в поле составил по декабрьским миниклубням 168 суток, мартовским – 76, апрельским – 46 суток. С учетом периода «посадка-первые единичные всходы» продолжительность периода покоя у миниклубней декабрьского срока сбора в зависимости от сорта составила 179,0-184,0 суток, мартовского – 91,7-118,3, апрельского – 71,3-99,7 суток.

Период хранения миниклубней при сборе в декабре обеспечил всхожесть посадочного материала 97,0-100 % (19,0-20,0 шт. из 20 посаженных) в оптимальные сроки, в марте – 76,5-

90,0 % (15,3-18,0 шт.) в сроки, когда декабрьские миниклубни приближались к фазе «цветение», при сборе в апреле – 43,5-76,5 % (8,7-15,3 шт.) в сроки, когда у декабрьских миниклубней завершался период клубнеобразования (табл. 1).

По данным таблицы 2 видно, что миниклубни декабрьского срока сбора позволили получить густоту посадки по сортам на уровне 38,8-40,8 тыс. шт/га и сформировать достаточную среднюю площадь листьев на уровне 9,0-11,7 тыс. м²/га, что позволяет прогнозировать хороший урожай. Миниклубни мартовского срока сбора обеспечили снижение густоты посадки на 4,1-7,6 тыс. шт/га и соответственно площадь ассимиляционной поверхности на 2,0-8,1 тыс. м²/га. Миниклубни апрельского срока сбора, не до конца прошедшие период покоя, кардинально меняли ситуацию в плане использования их в качестве посадочного материала. При густоте посадки от 17,7 до 31,2 тыс. шт/га (43,0-76,0 % от заданной) сформировалась минимальная ассимиляционная поверхность растений 0,6-3,9 тыс. м²/га.

Результаты дисперсионного анализа показали, что сорта существенно различались ($HCp_{05}(A) = 0,74$) по густоте посадки, за исключением Юна и Терра, при максимальном количестве растений на 1 га у сорта Сокур. Между сроками сбора миниклубней также отмечена значимая разница ($HCp_{05}(B) = 0,57$) по густоте посадки при преимуществе декабрьского срока сбора. На величину средних значений площади листьев наиболее выраженное влияние оказали сроки сбора миниклубней – при значимых различиях между ними ($HCp_{05}(B) = 0,21$) наибольшей площадью ассимиляционной поверхности характеризовались растения, полученные от миниклубней декабрьского срока сбора.

На первую дату учета (10 суток после цветения) наибольший урожай отмечен у растений, полученных от миниклубней декабрьского срока сбора (табл. 3). Лучшими были сорта Терра, Сокур, у которых масса клубней с одного растения составила 241,3 и 211,6 г соответственно. На этом фоне раннеспелый сорт Юна на первую дату учета значительно отставал по накоплению урожая от среднеспелых сортов Сокур (в 2,3 раза) и Златка (в 1,3 раза). На вторую дату учета масса клубней у сортов Сокур и Златка составила 423,8-521,7 г/растение, ранние Юна, Легенда и Терра сформировали меньше на 202,3-291,2, 134,4-223,3 и 19,9-108,8 г/растение соответственно. На третью дату учета (30 суток) среднеспелые сорта также имели подавляющее преимущество по накоплению урожая и темпам прироста. Наиболее продук-

тивными выделились растения от миниклубней декабрьского срока сбора, на все даты учета достоверно по всем сортам, за исключением Сокур, эти растения были лучшими.

На первую дату учета масса клубней у растений, полученных от миниклубней декабрьского срока сбора, по сортам составила от 92,5 до

241,3, вторую – от 230,5 до 521,7, третью – от 334,6 до 757,5 г/растение, по мартовскому сроку сбора – соответственно меньше на 39,9-113,3, 108,7-215,9, 134,4-344,1 г/растение, по апрельскому сроку сбора соответственно меньше на 92,5-156,8, 188-329,1, 297,4-320,4 г/растение относительно миниклубней декабрьского срока сбора.

Таблица 2 – Динамика нарастания площади листьев в зависимости от сорта картофеля и срока сбора миниклубней /

Table 2 – The dynamics of the increase in leaf area depending on the potato variety and harvest time of the minitubers

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Срок сбора (фактор В) / Harvest time (factor B)	Количество растений, тыс. шт/га / Number of plants, thou- sand pcs/ha	Площадь листьев, тыс. м ² /га / Leaf area, thousand sq m/ha			
			20* суток / 20 days	40 суток / 40 days	60 суток / 60 days	среднее / medium
Юна / Yuna	Декабрь / December	40,8	5,3	7,3	15,7	9,4
	Март / March	36,7	2,7	5,5	12,7	7,0
	Апрель / April	27,1	1,3	2,3	2,6	2,1
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		34,9	2,9	4,5	8,3	5,2
Сокур / Sokur	Декабрь / December	40,2	5,9	10,8	10,3	9,0
	Март / March	36,7	3,5	5,9	6,2	5,2
	Апрель / April	31,2	2,7	3,4	5,6	3,9
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		36,1	3,7	6,4	5,4	5,2
Златка / Zlatka	Декабрь / December	40,2	7,5	10,5	14,5	10,8
	Март / March	34,0	2,4	6,3	7,2	5,3
	Апрель / April	24,5	1,2	3,6	0	2,4
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		32,8	3,4	6,0	6,7	5,4
Легенда / Legenda	Декабрь / December	38,8	10,0	12,9	12,2	11,7
	Март / March	31,2	2,2	4,3	4,3	3,6
	Апрель / April	17,7	0,6	0,0	0,0	0,6
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		29,2	4,9	6,5	5,4	5,6
Терра / Terra	Декабрь / December	38,8	8,3	8,4	11,8	9,5
	Март / March	35,3	4,4	5,2	7,7	5,8
	Апрель / April	30,0	3,0	4,7	0	3,8
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		34,8	5,1	5,6	6,6	5,8
Среднее (фактор В) / Medium (factor B)	Декабрь / December	39,8	7,4	10,0	13,5	10,1
	Март / March	34,8	3,0	5,4	7,6	5,3
	Апрель / April	26,1	1,8	2,8	1,6	2,2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ фактор А / factor A		0,74	-	-	-	0,23
фактор В / factor B		0,57	-	-	-	0,21
AB / AB		1,28	-	-	-	0,42
част. разл. / partial differences		0,45	-	-	-	0,18

*От фазы «массовые всходы» / From the “mass shoots” phase

Таблица 3 – Динамика клубнеобразования в зависимости от сорта картофеля и срока сбора миниклубней /
 Table 3 – The dynamics of tuber formation depending on the potato variety and harvest time of the minitubers

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Срок сбора (фактор В) / Harvest time (factor B)	Оценка клубнеобразования после наступления массового цветения / Estimation of tuberization after the onset of mass flowering					
		10 суток / 10 days		20 суток / 20 days		30 суток / 30 days	
		кол-во клубней, шт/раст. / number of tubers, pcs/plant	масса, г/раст. / weight, g/plant	кол-во клубней, шт/раст. / number of tubers, pcs/plant	масса, г/раст. / weight, g/plant	кол-во клубней, шт/раст. / number of tubers, pcs/plant	масса, г/раст. / weight, g/plant
Юна / Yuna	Декабрь / December	3,6	92,5	4,7	230,5	5,7	334,6
	Март / March	2,6	52,6	3,6	121,8	4,2	202,2
	Апрель / April	0,0	0,0	1,8	42,1	0,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		2,6	60,2	3,3	135,1	6,1	234,2
Сокур / Sokur	Декабрь / December	7,9	211,6	10,3	423,8	12,3	620,5
	Март / March	6,6	111,5	8,9	386,0	9,5	644,1
	Апрель / April	6,2	54,8	8,0	215,7	8,3	300,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		7,1	152,0	10,4	397,2	11,3	608,6
Златка / Zlatka	Декабрь / December	6,7	133,4	9,9	521,7	13,2	757,5
	Март / March	1,9	19,7	6,2	255,8	10,2	510,7
	Апрель / April	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		3,6	65,3	7,5	424,8	11,3	641,2
Легенда / Legenda	Декабрь / December	4,2	113,4	5,1	298,4	6,5	607,6
	Март / March	0,0	0,0	5,2	345,1	5,9	435,4
	Апрель / April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		3,4	102,1	4,0	249,3	5,9	518,0
Терра / Terra	Декабрь / December	4,9	241,3	5,7	412,9	6,2	615,4
	Март / March	4,4	194,0	5,2	306,5	6,6	531,2
	Апрель / April	0,0	0,0	5,3	83,8	7,0	318,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		3,4	203,6	4,6	329,9	5,5	546,9
Среднее (фактор В) / Medium (factor B)	Декабрь / December	5,5	158,4	7,1	377,6	8,8	587,1
	Март / March	2,5	61,2	5,8	283,0	7,3	464,7
	Апрель / April	1,2	10,9	3,0	68,3	3,1	123,6
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ фактор А / factor A		0,17	11,44	0,25	13,61	0,19	51,09
фактор В / factor B		0,13	11,18	0,20	10,54	0,15	39,57
AB / AB		0,29	25,00	0,44	22,89	0,33	88,48
част. разл. / partial differences		0,10	8,66	0,17	11,31	0,10	27,31

Начало формирования урожая, интенсивность накопления и величина его во многом определялась продолжительностью периода «клубнеобразование». При продолжительности периода клубнеобразования 44,0-60,3 суток у растений, полученных из миниклубней декабрьского срока сбора, урожай на последнюю дату учета по сортам составил 334,6-757,5 г/растение, мартовского срока при периоде 21,7-36,0 суток получено 202,2-644,1 г/растение, апрельского – (по вариантам, в которых получили урожай), при периоде – 3,0-24,0 суток – 0-318,0 г/растение. По растениям, полученным из миниклубней

декабрьского срока сбора с периодом клубнеобразования 44,0-60,3 суток урожай на последнюю дату учета по сортам составил 334,6-757,5 г/растение, по мартовскому сроку при меньшем периоде (21,7-36,0 сут.) – 202,2-644,1 г/растение, по апрельскому при самом коротком периоде клубнеобразования (3,0-24,0 сут) урожай получили только по сортам Сокур и Терра – 300 и 318,0 г/растение соответственно. Кроме этого, ограниченный период клубнеобразования приводил к увеличению фракции клубней менее 28 мм в массе урожая, что отрицательно сказывается на его качестве.

Наибольшую урожайность, в среднем по срокам сбора миниклубней, получили по сортам Сокур и Терра 20,4 и 19,5 т/га соответственно, по остальным сортам существенно ниже – Юна на 10,8-9,9 т/га, Златка – на 5,1-4,2, Легенда – 9,4-8,5 т/га (табл. 4). Контрольные (декабрьские) миниклубни сформировали урожай больше, чем мартовские: Юна – на 7,4, Сокур – на 7,2, Златка – на 10,2, Легенда – на 4,0, Терра – на 5,4 т/га. От миниклубней апрельского срока сбора у сортов Юна, Златка и Легенда урожая не полу-

чили. В целом от миниклубней декабрьского срока сбора получено 18,2-28,1 т/га, мартовского – 10,8-18,8 т/га (на 7,4-9,3 т/га меньше), и этот материал можно использовать как посадочный. Объем семенной фракции (28-60 мм) по сортам Юна и Сокур был наибольшим соответственно 76,8 и 77,5 %. Миниклубни декабрьского и мартовского сроков сбора значительно увеличивали выход семенной фракции по сравнению с апрельским (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность и фракционный состав клубней картофеля в зависимости от сорта и срока сбора миниклубней /

Table 4 – Yield and fractional composition of potato tubers depending on the variety and harvest time of the minitubers

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Срок сбора (фактор В) / Harvest time (factor B)	Урожайность / Yield		Фракционный состав, % / Fractional composition, %		
		т/га / t/ha	% от декабрьского срока сбора / % from the december harvesting	0-28 мм / 0-28 mm	28-60 мм / 28-60 mm	>60 мм / >60 mm
Юна / Yuna	Декабрь / December	18,2	100	3,0	80,0	17,0
	Март / March	10,8	59,3	23,0	73,2	3,8
	Апрель / April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		9,6	55,9	12,7	76,8	10,5
Сокур / Sokur	Декабрь / December	26,0	100	6,6	89,4	4,0
	Март / March	18,8	72,3	26,1	71,2	2,7
	Апрель / April	16,4	63,0	46,4	50,2	3,4
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		20,4	78,4	19,9	77,5	2,6
Златка/ Zlatka	Декабрь / December	28,1	100	30,8	61,0	8,2
	Март / March	17,9	63,7	52,9	47,1	0,0
	Апрель / April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		15,3	64,9	41,8	54,1	4,0
Легенда/ Legenda	Декабрь / December	18,6	100	18,2	76,7	5,1
	Март / March	14,6	78,4	45,0	44,4	10,6
	Апрель / April	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		11,0	69,2	31,4	60,6	7,8
Терра / Terra	Декабрь / December	22,9	100	2,8	74,5	22,7
	Март / March	17,5	76,4	14,1	73,3	12,6
	Апрель / April	18,1	79,0	64,0	36,0	0,0
Среднее (фактор А) / Medium (factor A)		19,5	77,3	27,0	61,2	11,6
Среднее (фактор В) / Medium (factor B)	Декабрь / December	22,8	100,0	12,2	76,3	11,4
	Март / March	15,9	69,7	32,2	60,4	7,6
	Апрель / April	6,9	30,3	55,2	42,1	3,4
НСР ₀₅ / LSD ₀₅ фактор А / factor A		0,60	-	-	-	-
фактор В / factor B		0,47	-	-	-	-
AB / AB		1,12	-	-	-	-
част. разл. / partial differences		0,30	-	-	-	-

Посадочный материал декабрьского срока сбора у всех сортов был самым продуктивным. Потеря урожая по миниклубням мартовского срока сбора составила в зависимости от сортов от 4,0 до 10,2 т/га, от апрельского – у сортов Сокур и Терра – от 4,4 до 9,6 т/га. В среднем посадочные миниклубни декабрьского и мартовского сроков сбора сформировали наивысшую урожайность соответственно 22,8 и 15,9 т/га, с учетом выхода семян эти миниклубни можно использовать в качестве посадочного материала. Принимая во внимание результаты дисперсионного анализа, можно сделать вывод о достоверности различий средних значений урожайности по сортам ($HC_{P05}(A) = 0,60$) и срокам сбора миниклубней ($HC_{P05}(B) = 0,47$), при преимуществе сорта Сакур и декабрьского срока сбора.

Выводы. 1. Использование миниклубней в качестве посадочного материала при выращивании высококачественных семян картофеля оправдано при прохождении ими периода покоя, который завершается при условии хранения миниклубней на протяжении 179,0-184 суток (декабрьский и мартовский сроки сбора). Миниклубни, собранные в апреле с периодом хранения 71,3-99,7 суток, использовать в качестве посадочного материала нецелесообразно, так как по большинству сортов они не сформировали урожай.

2. Показатель «первые единичные всходы» дает основание считать период покоя миниклубней оконченным, далее начинается прорастание, которое продолжается до полных массовых

всходов. По миниклубням декабрьского срока сбора массовые всходы наступают спустя 7-8 суток от появления единичных всходов, по мартовскому сроку – спустя 19,3-30,3, по апрельскому – 0-28,7 суток.

3. Сроки всходов миниклубней повлияли в дальнейшем на формирование ассимиляционной поверхности растений и урожая картофеля. При использовании миниклубней, собранных в декабре, густота всходов составила 39,8 тыс. шт/га, достигнута оптимальная средняя площадь листьев 10,1 тыс. м²/га, начальный урожай на первую дату учета составил 158,4 г/растение. По посадочным миниклубням, собранным в марте, густота всходов отмечена меньше в 1,1 раза, средняя площадь листьев – в 1,9 раза, начальный урожай – в 2,6 раза, по апрельским миниклубням еще меньше – в 1,5; 4,6; 14,5 раза соответственно.

4. Миниклубни декабрьского срока сбора были лучшими – по ним получена наибольшая урожайность (22,8 т/га) и выход семенных клубней (76,3 %); по миниклубням мартовского срока сбора соответствующие значения меньше на 6,8 т/га и 15,9 %, самые низкие показатели получены при посадке миниклубней апрельского срока сбора – соответственно на 15,9 т/га и 34 % меньше по сравнению с декабрьским.

5. Наиболее продуктивными за годы исследований выделились сорта Сокур среднеспелого срока созревания с урожайностью 20,4 т/га и Терра раннеспелого срока созревания с урожайностью 19,5 т/га.

Список литературы

1. Шанина Е. П., Стафеева М. А., Ковалев А. Н. Перспективы использования аэрогидропонного способа выращивания мини-клубней картофеля в условиях искусственного освещения. АПК России. 2018;25(1):63-68. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32484904> EDN: YPUHIL
2. Полухин Н. И., Колошина К. А., Мызгина Г. Х. Реакция сортов картофеля на условия аэрогидропонной технологии при выращивании миниклубней. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(1):26-30. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10105> EDN: NEBJVJ
3. Мартиросян Ю. Ц., Кособрухов А. А., Мартиросян В. В. Аэропонные технологии в безвирусном семеноводстве – преимущества и перспективы. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(10):47-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27175127> EDN: WWRMXX
4. Мартиросян Ю. Ц., Полякова М. Н., Диловарова Т. А., Кособрухов А. А. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения. Сельскохозяйственная биология. 2013;48(1):107-112. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18791173> EDN: PVFJYF
5. Лебедева В. А., Гаджиев Н. М., Иванов А. В. Продолжительность периода покоя клубней некоторых сортов картофеля и их гибридов в условиях Ленинградской области. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020;(85):121-124. DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-85-121-124> EDN: RQEAUY
6. Tierno R., Carasco A., Ritter E., de Galarreta J. I. R. Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. American Journal of Potato Research. 2014;91(4):346-353. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>
7. Кокшарова М. К. Миниклубни – ценный посадочный материал в первичном семеноводстве. Достижения науки и техники АПК. 2011;(6):46-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16497031> EDN: NXACXX
8. Чумак М. С., Потапенко Л. В., Волошин А. П. Актуальность беспочвенного выращивания растений методом аэропоники. Современный взгляд на будущее науки: сб. ст. Международ. научн.-практ. конф. Т. Часть 2. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 230-233. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21540786> EDN: ONCQOD

9. Аксенова Н. П., Константинова Т. Н., Голянская С. А., Сергеева Л. И., Романова Р. А. Регуляция покоя и прорастания клубней картофеля. Физиология растений. 2013;60(3):307-319. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330313030020> EDN: PXLFOV
10. Рубцова С. П., Вовчук О. А., Бакунов А. П. Динамика выхода мини клубней картофеля из периода покоя в зависимости от использования различных стимуляторов роста. Молодой ученый. 2016;(27-3):51-53. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27535165> EDN: XEOIYB
11. Cassan F., Vanderleyden J., Spaepen S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. Journal of Plant Growth Regulation. 2014;33(2):440-459. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4>
12. Draie R., AL-ABSI M. Regulation and control of potato tuber dormancy and sprouting. International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research. 2019;06(01):4573-4583. URL: https://www.researchgate.net/publication/337404238_Regulation_and_Control_of_Potato_Tuber_Dormancy_and_Sprouting
13. Колесова О. С., Овес Е. В., Бойко В. В., Гантова Н. А., Фенина Н. А. Продолжительность периода покоя и сохранность микроклубней картофеля *in vitro* при различных температурных режимах хранения. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(6):47-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29822618> EDN: ZCPUZR
14. Овес Е. В., Колесова О. С., Жевора С. В. Инновационный способ выращивания микроклубней картофеля *in vitro*. Картофелеводство: сб. науч. тр. НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. Минск: изд-во Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2016. Т. 24. С. 353-361. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37205196&pf=1> EDN: ZBIOEP
15. Рубцов С. Л., Бакунов А. Л., Милехин А. В., Дмитриева Н. Н. Биохимические показатели миниклубней картофеля, произведенных аэрогидропонным производством. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017;19(2-4):648-649. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34966565> EDN: UPQDVE
16. Корнацкий С. А. Инновационная технология выращивания миниклубней картофеля для первичного семеноводства. Евразийский Союз Ученых. 2016;(12-2):38-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28384443> EDN: XXDOFL

References

1. Shanina E. P., Stafeeva M. A., Kovalev A. N. Prospects for the use aerogidropnic method of growing mini-tubers of potatoes in artificial lighting conditions. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2018;25(1):63-68. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32484904>
2. Polukhin N. I., Koloshina K. A., Myzgina G. Kh. Reaction of potato varieties to the aeroponic technologies at mini-tubers growing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(1):26-30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10105>
3. Martirosyan Yu. Ts., Kosobryukhov A. A., Martirosyan V. V. Aeroponic technologies in virus-free seed production: advantages and perspectives. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(10):47-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27175127>
4. Martirosyan Yu. Ts., Polyakova M. N., Dilovarova T. A., Kosobryukhov A. A. Photosynthesis and productivity of potato plants in the conditions of different spectral irradiation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2013;48(1):107-112. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18791173>
5. Lebedeva V. A., Gadzhiev N. M. O., Ivanov A. V. The length of the tubers dormant period of some potato varieties and their hybrids in the conditions of the Leningrad region. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(85):121-124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-85-121-124>
6. Tierno R., Carasco A., Ritter E., de Galarreta J. I. R. Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *American Journal of Potato Research*. 2014;91(4):346-353. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>
7. Koksharova M. K. Minitubers - a valuable landing material in primary seed-growing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2011;(6):46-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16497031>
8. Chumak M. S., Potapenko L. V., Voloshin A. P. The relevance of soilless growing of plants using the aeroponics method. Modern view of the future of science: Collection of articles of International scientific-practical conf. Vol. Part 2. Ufa: *Aeterna*, 2014. pp. 230-233. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21540786>
9. Aksanova N. P., Konstantinova T. N., Golyanskaya S. A., Sergeeva L. I., Romanova R. A. Regulation of potato tuber dormancy and sprouting. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2013;60(3):307-319. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330313030020>
10. Rubtsova S. P., Vovchuk O. A., Bakunov A. P. Dynamics of emergence of mini potato tubers from the dormant period depending on the use of various growth stimulants. *Molodoy uchenyy*. 2016;(27-3):51-53. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27535165>
11. Cassan F., Vanderleyden J., Spaepen S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. Journal of Plant Growth Regulation. 2014;33(2):440-459. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4>
12. Draie R., AL-ABSI M. Regulation and control of potato tuber dormancy and sprouting. International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research. 2019;06(01):4573-4583. URL: https://www.researchgate.net/publication/337404238_Regulation_and_Control_of_Potato_Tuber_Dormancy_and_Sprouting

13. Kolesova O. S., Oves E. V., Boyko V. V., Gaitova N. A., Fenina N. A. Prodolzhitel'nost' perioda pokoya i sokhrannost' mikroklub-ney kartofelya in vitro pri razlichnykh temperaturnykh rezhimakh khrane-niya. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(6):47-50. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29822618>

14. Oves E. V., Kolesova O. S., Zhevora S. V. An innovative method for growing potato microtubers *in vitro*. Potato growing: collection of scientific articles, Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for potato and horticulture. Minsk: *izd-vo Respublikanskoe unitarnoe predpriyatie «Nauchno-prakticheskiy tsentr NAN Belarusi po kartofelevodstvu i plodoovoshchevodstvu»*, 2016. Vol. 24. pp. 353-361.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37205196&pff=1>

15. Rubtsov S. L., Bakunov A. L., Milekhin A. V., Dmitrieva N. N. Analysis of biochemical parameters of potato minitubers grown on various biotechnological installations. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017;19(2-4):648-649. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34966565>

16. Kornatskiy S. A. Innovative technology for growing potato minitubers for primary seed production. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh* = Eurasian Union of Scientists. 2016;(12-2):38-40. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28384443>

Сведения об авторах

✉ **Колошина Кристина Андреевна**, научный сотрудник, и. о. зав. сектора селекции, семеноводства и технологии возделывания картофеля, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», ул. С-200, зд. 5/1, пос. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация, 630501, e-mail: sibniirs@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3439-7861>, e-mail: kristina.koloshina@yandex.ru

Полухин Николай Иванович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», ул. С-200, зд. 5/1, пос. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация, 630501, e-mail: sibniirs@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3348-6446>

Авдеенко Константин Владимирович, агроном 1 категории, Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», ул. С-200, зд. 5/1, пос. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация, 630501, e-mail: sibniirs@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1735-0821>

Information about the authors

✉ **Kristina A. Koloshina**, researcher, Acting Head of the Sector of Breeding, Seed Growing and Potato Cultivation Technology, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, S-200 street, 5/1, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation, 630501, e-mail: sibniirs@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3439-7861>, e-mail: kristina.koloshina@yandex.ru

Nikolay I. Polukhin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, S-200 street, 5/1, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation, 630501, e-mail: sibniirs@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3348-6446>

Konstantin V. Avdeenko, agronomist of the 1 category, Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, S-200 street, 5/1, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation, 630501, e-mail: sibniirs@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1735-0821>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ/PLANT PROTECTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.980-988>
УДК 632.938.1:633.52



Идентификация генов устойчивости к фузариозному увяданию у образцов льна масличного с различным жирнокислотным составом

© 2023. Т. А. Рожмина✉, А. В. Мясникова

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

Семена масличного льна являются ценным сырьем для разных отраслей промышленности. Цель исследований заключалась в формировании генетической коллекции льна масличного по устойчивости к фузариозному увяданию для создания специализированных сортов различного назначения с высокоэффективными R-генами. На инфекционных фонах с популяций гриба *Fusarium oxysporum* f. *lini* (Bolley) и высоковирулентным моноизолатом № 39 данного возбудителя оценены 28 перспективных генотипов масличного льна. С использованием фитопатологического теста из мирового генофонда вида *Linum usitatissimum* L. выявлено 10 перспективных генотипов масличного льна – № 3829, Уральский (Россия), л. 6 AGT 1538, л. 12 AGT 987 (Чешская Республика), Altess, Eole (Франция), Selectiong 3 (Китай), Arnu, Bison (США) и Linda (Канада), обладающих эффективными генами устойчивости к грибу *F. oxysporum* f. *lini* и различающихся по жирнокислотному составу масла. С использованием метода гибридологического анализа установлено, что устойчивость к фузариозному увяданию у низколиноленовой линии 12 AGT 987 (Чешская Республика) детерминирована геном *Fu 11*, а у высоколиноленовой л. 3 Altess (Франция) – *Fu 4* ($\chi^2 = 0,02...2,89$). У низколиноленовой линии 6 AGT 1538 (Чешская Республика) выявлен ранее неизвестный ген устойчивости к данному заболеванию – *Fu 12* ($\chi^2 = 0,0001...2,4100$). Использование выявленных генетических источников в селекционных программах будет способствовать созданию специализированных сортов для пищевой, химической и других отраслей промышленности с различными R-генами устойчивости, что предотвратит развитие эпифитотий данного заболевания масличного льна.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., возбудитель *Fusarium oxysporum*, R-ген, устойчивость, сорт, линоленовая кислота

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рожмина Т. А., Мясникова А. В. Идентификация генов устойчивости к фузариозному увяданию у образцов льна масличного с различным жирнокислотным составом. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):980-988. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.980-988>

Поступила: 12.08.2023

Принята к публикации: 31.10.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Identification of resistance genes to Fusarium wilt in oil flax samples with different fatty acid composition

© 2023. Tatiana A. Rozhmina✉, Anastasija V. Myasnikova

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

Oil flax seeds are valuable raw material for various industries. The purpose of the research was to form a genetic collection of oil flax for resistance to *Fusarium wilt* in order to create specialized varieties for various purposes with highly effective R-genes. On infectious backgrounds from populations of the fungus *Fusarium oxysporum* f. *lini* (Bolley) and highly virulent monoisolate No 39 of this pathogens, 28 promising genotypes of oilseed flax were assessed. Using a phytopathological test from the world gene pool of the species *Linum usitatissimum* L. 10 promising oil flax genotypes were identified – No. 3829, Uralsky (Russia), l. 6 AGT 1538, l. 12 AGT 987 (Czech Republic), Altess, Eole (France), Selectiong 3 (China), Arnu, Bison (USA) and Linda (Canada), which have effective resistance genes to the fungus *F. oxysporum* f. *lini*, differing in the fatty acid composition of the oil. Using the method of hybridological analysis, it has been established that resistance to *Fusarium wilt* in the low linolenic line l. 12 AGT 987 (Czech Republic) is determined by the *Fu 11* gene, while in the high linolenic l. 3 Altess (France) it is *Fu 4* ($\chi^2 = 0.02...2.89$). In the low linolenic line l. 6 AGT 1538 (Czech Republic) a previously unknown gene for resistance to this disease – *Fu 12* was identified ($\chi^2 = 0.0001...2.4100$). The use of identified genetic sources in breeding programs will contribute to the creation of specialized varieties for the food, chemical and other industries with various R-genes of resistance, which will prevent the development of epiphytotic of this disease on oil flax.

Key words: *Linum usitatissimum* L., fungus *Fusarium oxysporum*, R-gene, resistance, variety, linolenic acid

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2022-0009). 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: Rozhmina T. A., Myasnikova A. V. Identification of resistance genes to Fusarium wilt in oil flax samples with different fatty acid composition. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):980-988. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.980-988>

Received: 12.08.2023

Accepted for publication: 31.10.2023

Published online: 20.12.2023

В последнее десятилетие отмечается неуклонный рост посевных площадей в Российской Федерации, занятых под масличным льном, которые в настоящее время превышают 2,0 млн га¹. Основной причиной является высокая ценность льносемян, которые во всем мире все шире используются для пищевых и фармацевтических целей, что обусловлено уникальностью их биохимического состава, куда входят незаменимые аминокислоты омега 3 и омега 6, лигнаны, высококачественный белок, полисахариды, витамины и микроэлементы [1, 2, 3]. В современных условиях успешно ведутся исследования по созданию сортов с измененным жирнокислотным составом различного назначения – для химической, пищевой, фармацевтической промышленности, получения биотоплива и других [4, 5]. Впервые в Государственный реестр селекционных достижений РФ были включены сорта масличного льна пищевого назначения в 1998 году, в настоящее время на долю сортов с измененным жирнокислотным составом приходится 15,4 % от общего их числа². Данная культура отличается также высокой технологичностью и низкой затратностью, что делает ее производство высокорентабельным [6, 7]. Вместе с тем, процесс расширения площадей под масличным льном усугубляется несоблюдением севооборотов, что неизбежно ведет к накоплению инфекции в почве. К наиболее вредоносным заболеваниям культуры относится фузариозное увядание, основной возбудитель – *Fusarium oxysporum f. lini* (Bolley), который сохраняется в почве до 7 лет и при эпифитотийном его развитии снижение урожая льносемян может достигать 100 % [8, 9].

В условиях Российской Федерации у данного патогена идентифицировано 16 физиологических рас [10]. Установлено, что при оптимальном для возбудителя температурном режиме

(26–28 °C) может наблюдаться усиление их агрессивности [11].

Устойчивость льна к фузариозному увяданию может определяться как генами горизонтальной, так и вертикальной устойчивости. Учитывая, что передача инфекции возбудителя происходит через почву, то к фузариозному увяданию применима защита, обусловленная единичными эффективными генами. Ярким примером тому является сорт Л-1120, созданный в середине прошлого века, который входит в родословную многих сортов льна-долгунца, устойчивость его к данному заболеванию детерминируется двумя R-генами [12]. Преимущество этого подхода состоит в сокращении периода выведения моногенных сортов и значительном подавлении болезни.

На сегодняшний день у льна известно о наличии одиннадцати R-генов устойчивости к возбудителю *Fusarium oxysporum f. lini*, девять из которых идентифицировано с нашим участием. Создана генетическая коллекция по устойчивости льна к фузариозному увяданию [12]. Проводятся исследования по изучению генетической природы устойчивости с использованием молекулярных методов [13, 14, 15]. На основе разработанной нами селекционно-генетической технологии выведено и включено в Госреестр РФ три сорта льна-долгунца [12]. Всероссийским НИИ масличных культур создан сорт высокоустойчивый не только к фузариозному увяданию, но и льноутомлению [16]. Вместе с тем, из-за изменения климата и расширения посевов под масличным льном высока опасность потери устойчивости, как это не раз наблюдалось на других культурах.

Поэтому для обеспечения надежной генетической защиты льна масличного от данного заболевания необходимо активизировать исследования по созданию сортов с различными эффективными генами.

¹Посевные площади сельскохозяйственных культур. Лен-кудряш (масличный). [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev_2022.xlsx (дата обращения: 10.08.2023).

²Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том I. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 631 с. URL: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php>

Цель исследований – формирование генетической коллекции льна масличного по устойчивости к фузариозному увяданию для создания специализированных сортов с различными высокоэффективными генами резистентности.

Научная новизна – коллекция масличного льна пополнилась новыми генисточниками устойчивости к фузариозному увяданию, в т. ч. у трех генотипов идентифицированы различные R-гены. У льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) идентифицирован ранее неизвестный ген *Fu 12*, а у масличного – новый ген *Fu 11*. Впервые у генотипов льна с измененным жирнокислотным составом (л. 12 AGT 987, л. 6 AGT 1538) выявлены эффективные R-гены устойчивости к патогену.

Материал и методы. Материалом для проведения исследований служила коллекция мирового генофонда льна, созданная в ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК). Фитопатологическая оценка на устойчивость к фузариозному увяданию выполнена в условиях вегетационного домика в ящичном посеве. Закладку фузариозного инфекционного питомника и оценку материала проводили в соответствии с методическими указаниями³. Инфекционный фон при посеве в ящиках создавали путем внесения чистой культуры возбудителя *Fusarium oxysporum* f. *lini* из расчета 400 г на ящик размером 50x85x20 см.

Для выявления генотипов масличного льна с высокоэффективными генами резистентности к фузариозному увяданию использовали методы гибридологического анализа и фитопатологического тестирования. На инфекционно-провокационных фонах с популяцией гриба *Fusarium oxysporum* f. *lini* и сильновирulentным моноизолятом 39 данного возбудителя проведена оценка 28 перспективных генотипов масличного льна, обладающих различным жирнокислотным составом.

В составлении искусственной популяции были задействованы моноизоляты гриба *F. oxysporum*, полученные из «Коллекции микроорганизмов – возбудителей болезней льна» ФГБНУ ФНЦ ЛК. В состав искусственной популяции было включено 16 моноизолятов с различной вирулентностью: 50 % – сильновирulentных и 50 % – средневирulentных.

Для идентификации генов устойчивости к фузариозному увяданию у исследуемых перспективных линий на фоне с наиболее виру-

лентным моноизолятом 39 проведена оценка гибридов F₂ от скрещивания их с линиями, обладающими известными R-генами, такими как Ленюк, л. 6, г-2101-4-7, № 3896 (Россия), Родник, л. 8 (отб. к-5064, Республика Беларусь), Querandí, л. 1 (отб. к-4241, Аргентина), Roja, л. 8 (отб. к-3510, Канада), Dakota, л. 8 (отб. к-3218, США), Currong, л. 3 (отб. к-3978, Австралия), Linota, л. 12 (Аргентина).

Учет пораженности фузариозным увяданием проводили в фазу полных всходов льна. Окончательный учет пораженности выполнен в период уборки в фазу ранней желтой спелости. При фитопатологическом анализе стеблей льна определяли количество пораженных растений и степень поражения по 4-балльной шкале:

- 0 – отсутствие поражения, здоровое растение;
- 1 – частичное побурение растения, одностороннее побурение стебля;
- 2 – побурение всего растения с коробочками;
- 3 – полностью бурое, погибшее или отмершее растение до образования коробочек.

Ранжирование изучаемых генотипов льна по устойчивости к фузариозному увяданию проводили на основании результатов фитопатологической оценки растений по степени поражения: до 20 % – устойчивые; с 21 до 30 % – слабовосприимчивые; с 31 до 50 % – средневосприимчивые; свыше 50 % – сильновосприимчивые. При анализе расщепления в F₂ по устойчивости к фузариозному увяданию на инфекционном фоне все растения были разделены на два класса – устойчивые (балл 0) и восприимчивые (балл 1, 2, 3).

Статистическая обработка данных выполнена с использованием метода Пирсона по Б. А. Доспехову⁴.

Результаты и их обсуждение. За период с 1989 по 2012 год нами было идентифицировано у линий, выделенных из образцов мировой коллекции льна, 9 эффективных в условиях Российской Федерации генов устойчивости к фузариозному увяданию, один из которых был известен ранее – ген *Fu 2* у линии из сорта масличного льна Dakota. Ген устойчивости *Fu 3*, идентифицированный в условиях Индии у линии из сорта масличного льна Punjab, селекционной ценности в условиях нашей страны не представляет, так как в сильной степени поражается популяцией возбудителя [11].

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

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. [Предисл. Д. В. Васильевой и др.]. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

На основании исследований, проведенных нами с 2013 по 2017 год, установлено, что у современных сортов льна-долгунца Зарянка, Русич, Дипломат и Ленок устойчивость к фузариозному увяданию детерминирована генами *Fu 2*, *Fu 9*, *Fu 10* и *Fu 11* соответственно [17]. С использованием разработанной нами селекционно-генетической технологии созданы сорта льна-долгунца Цезарь (в Госреестре РФ с 2018 г.),

Девиз (с 2023 г.) и Сурский (с 2016 г.), обладающие высокоэффективными генами устойчивости *Fu 5*, *Fu 6* и *Fu 8* соответственно, которые отсутствуют у современных сортов. Таким образом, из известных эффективных R-генов устойчивости к данному заболеванию не выявлены генотипы льна-долгунца только с геном *Fu 7*, при этом преобладают линии с генами *Fu 5*, *Fu 8* и *Fu 9* (табл. 1).

Таблица 1 – Эффективные гены устойчивости к фузариозному увяданию, идентифицированные у линий прядильного и масличного льна (ВНИИ льна, 1994–2017 гг.) /

Table 1 – Effective Fusarium wilt resistance genes identified in spinning and oil flax (All-Russian Research Institute of Flax, 1994–2017)

Ген / Gene	Линия льна масличного / Lines of oil flax	Линия льна-долгунца / Lines of fiber flax
<i>Fu 2</i> / <i>Fu 2</i>	Dakota, л. 8 (США / USA), Clark, л. 3 (Голландия / Holland)	Зарянка (Россия) / Zarjanka (Russia)
<i>Fu 4</i> / <i>Fu 4</i>	№ 340, л. 7 (Аргентина / Argentina), Areco, л. 4, Atalante, л. 2 (Голландия / Holland), № 3896 (Россия / Russia)	Г-4729, л. 3 (Россия) / G-4729, l. 3 (Russia)
<i>Fu 5</i> / <i>Fu 5</i>	-	Querandi, л. 1 (Аргентина / Argentina), К-65, л. 1 (Беларусь / Belarus), Восход, Цезарь (Россия) / Voskhod, Caesar (Russia)
<i>Fu 6</i> / <i>Fu 6</i>	-	Currong, л. 3 (Австралия / Australia), Девиз / Devis (Россия / Russia)
<i>Fu 7</i> / <i>Fu 7</i>	Roja, л. 8 (Канада / Canada), Siciliana 285, л. 3 (Италия / Italy)	-
<i>Fu 8</i> / <i>Fu 8</i>	-	г-2101-4-7, Сурский (Россия) / g-2101-4-7, Surskiy (Russia), Родник, л. 8 (Беларусь) / Rodnik, l. 8 (Belarus), Z 95199 (Румыния / Romania), Honkei 21 (Китай / China)
<i>Fu 9</i> / <i>Fu 9</i>	-	Родник, л. 8 (Беларусь) / Rodnik, l. 8 (Belarus), Русич, Смолич (Россия) / Rusich, Smolich (Russia)
<i>Fu 10</i> / <i>Fu 10</i>	Linota, л. 12 (Аргентина / Argentina)	Дипломат (Россия) / Diplomat (Russia)
<i>Fu 11</i> / <i>Fu 11</i>	-	Ленок (Россия) / Lenok (Russia)

В результате проведенных исследований, у образцов мировой коллекции масличного льна нами идентифицировано всего четыре R-гена устойчивости – *Fu 2*, *Fu 4*, *Fu 7* и *Fu 10*, что указывает на необходимость продолжения исследований по формированию генетической коллекции этой культуры по устойчивости к фузариозному увяданию.

Для решения данной задачи в исследовании было включено 28 перспективных линий и сортов масличного льна отечественной и зарубежной селекции, различающихся по жирнокислотному составу масла: высоколиноленовые (55–65 % линоленовой кислоты от общего количества жирных кислот) – Уральский, Северный,

Циан, № 3801, № 3829 (Россия), AGT 981, JDG 4102 (Чешская Республика), л. 7 Altess, Eolle, Dochess, Astral (Франция), Lusatia (Германия), Vitagold (Ирландия), Selectiong 3 (Китай), BS-12 (Индия), Arnu, Bison (США), Flanders, Linda (Канада); среднелиноленовые (35 %) – Raciol (Чешская Республика); низколиноленовые (менее 10 %) – ЛМ 98 (Россия), л. 6 AGT 1538, л. 12 AGT 987, Jantar, Amon (Чешская Республика), Lola (Великобритания), Еуре, Walaga (Австралия).

Проведенное нами фитотестирование данных линий и сортов масличного льна на фонах с популяцией возбудителя *Fusarium oxysporum* f. *lini* и сильновирulentным моноизолятом данного гриба № 39 позволило выявить 10 гено-

типов с высоким уровнем устойчивости во все годы испытаний (пораженность от 0 до 20 %), что указывает на наличие у них высокоэффективных R-генов к фузариозному увяданию (табл. 2). Высокий уровень устойчивости проявили генотипы № 3829, Уральский (Россия), л. 6 AGT 1538, л. 12 AGT 987 (Чешская Республика), Altess, Eole (Франция), Selectiong 3

(Китай), Arnun, Bison (США) и Linda (Канада). Пораженность восприимчивого стандарта – линии AP 5 во всех вариантах опыта составила свыше 87 %, что свидетельствует о жесткости инфекционных фонов. Более того, следует отметить, что растения с баллом поражения 1 и 2 практически отсутствовали, что также указывает на жесткость инфекционного фона.

Таблица 2 – Пораженность перспективных линий и сортов масличного льна фузариозным увяданием (инфекционный фон – популяция и моноизolat 39 гриба *Fusarium oxysporum* f. *lini*) /

Table 2 – Infection of promising lines and varieties of oil flax with Fusarium wilt (infectious background – population and monoisolate 39 mushroom *Fusarium oxysporum* f. *lini*)

Название образца / Name of sample	Происхождение / Origin	Пораженность грибом <i>F. oxysporum</i> , % / <i>F. oxysporum</i> fungus infestation, %							
		популяция / population				моноизolat № 39 / monoisolate No 39			
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее / average	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее / average
Уральский / Uralskiy	Россия / Russia	16,7	0	0	5,6	0	0	0	0
№ 3829		0	0	18,8	6,3	0	0	0	0
л. 6 AGT 1538*	Чехия / Czech Republic	0	18,8	12,5	10,4	0	0	6,3	2,1
л. 12 AGT 987**		14,3	6,25	0	6,9	0	0	0	0
л. 7 Altess	Франция / France	12,5	15,3	16,7	14,8	19,4	12,5	14,3	15,4
Eolle		19,4	6,25	0	8,6	8,3	0	0	2,8
Selectiong 3	Китай / China	0	20,4	20	13,5	0	0	16,7	5,6
Arnun	США / USA	0	0	0	0,0	0	0	20,0	6,7
Bison		14,3	0	7,1	7,1	0	0	13,3	4,4
Linda	Канада / Canada	20,0	6,6	0	8,9	16,7	16,5	6,3	13,2
№ 3801	Россия / Russia	12,5	0	31,3	14,6	0	0	0	0,0
JDG 4102	Чехия / Czech Republic	16,7	0	31,3	16,0	11,1	0	6,3	5,8
Raciol **		16,7	12,5	12,5	13,9	0	12,5	33,3	15,3
Dochess	Франция / France	0	0	28,6	9,5	0	0	12,5	4,2
BS-12	Индия / India	0	0	26,7	8,9	0	0	0	0,0
ЛМ 98/ LM 98 *	Россия / Russia	100	87,5	46,7	78,1	75	100	54,5	76,5
Северный/ Severniy		71,4	25	0	32,1	11,1	12,5	46,7	23,4
Циан / Zian		80	68,7	50	66,2	55,6	25,0	21,4	34,0
AGT 981	Чехия / Czech Republic	50,0	84,6	57,1	63,9	66,7	75,0	50,0	63,9
Jantar*		100	71,4	37,5	69,6	50	33,3	25,0	36,1
Amon		100	78,6	78,6	85,7	55,6	57,5	85,7	66,3
Lola*	Великобритания / Great Britain	20	58,1	31,3	36,5	58,3	93,8	12,5	54,9
Vitagold	Ирландия / Ireland	100	100	53,3	84,4	63,9	80,4	87,5	77,3
Astral	Франция / France	100	75	100	91,7	100	100	100	100
Lusatia	Германия / Germany	100	80	86,7	88,9	72,2	100	100	90,7
Flanders	Канада / Canada	66,7	46,7	62,5	58,6	55,6	62,5	68,8	62,3
Eyre*	Австралия / Australia	100	75	93,3	89,4	100	100	87,5	95,8
Walaga*		100	60	68,8	76,3	58,3	43,8	37,5	46,5
AP 5 – стандарт / AR 5 – standard	Россия / Russia	100	93,8	87,5	93,8	93,8	100	92,8	95,5

*Содержание линоленовой кислоты в масле низкое – менее 10 %; **среднее – 35 % /

*The content of linolenic acid in the oil is low – less than 10%; **average – 35% /

Высокую степень поражения (от 50,1 до 100 %) на обоих фонах по данным трех лет испытаний проявили следующие образцы: AGT 981, Amon (Чешская Республика), Vitagold (Великобритания), Astral (Франция), Lusatia (Германия), Euge (Австралия). Следует отметить высокую изменчивость уровня поражения – от слабой до сильной, в зависимости от года испытаний, у сортов льна масличного Циан, Северный и Lola как на фоне с популяцией патогена, так и на фоне с моноизолятом № 39 гриба *Fusarium oxysporum* f. *lini*. При этом по результатам оценки в среднем за 3 года: сорт Северный – средневосприимчив к популяции возбудителя, но слабовосприимчив к моноизолату 39; сорт Циан – сильновосприимчив к популяции возбудителя и средневосприимчив к моноизолату 39; сорт Lola – средневосприимчив к популяции возбудителя и сильновосприимчив к моноизолату 39.

С целью идентификации эффективных генов устойчивости к фузариозному увяданию у льна масличного на инфекционном фоне с моноизолатом 39 провели анализ гибридов F₂ от скрещиваний линий, обладающих различными высокоэффективными генами устойчивости к фузариозному увяданию, с линиями – 6 AGT 1538, 12 AGT 987 (Чешская Республика)

и 7 Altess (Франция), проявивших высокий уровень фузариозоустойчивости. Более того, линии AGT 1538 и AGT 987 отличались низким содержанием линоленовой кислоты (менее 10 %), что важно для получения ценного пищевого масла с длительным периодом его хранения.

В гибридных комбинациях F₂, где в качестве материнской формы были использованы линии из образцов Dakota, № 3896, Querandi, Currong, Roja, г-2101-7-4, Linota и Ленок, обладающие моногенной устойчивостью, в частности генами *Fu 2*, *Fu 4*, *Fu 5*, *Fu 6*, *Fu 7*, *Fu 8*, *Fu 10* и *Fu 11* соответственно, а в качестве отцовской – линия масличного льна л. 6 AGT 1538, выявлен дигенный характер расщепления – 15R:1S ($\chi^2 = 0,0001...2,4100$). В гибридной комбинации от скрещивания с линией из сорта Родник, устойчивость которой детерминруется двумя доминантными генами – *Fu 8* и *9*, с линией AGT 1538, расщепление соответствовало соотношению 63R:1S ($\chi^2 = 0,02$) (табл. 3). Полученные результаты гибридологического анализа подтвердили наличие у линии AGT 1538 высокоэффективного R-гена, который отличается от всех ранее известных генов устойчивости к фузариозному увяданию у льна, который был обозначен *Fu 12*.

Таблица 3 – Расщепление по устойчивости к фузариозному увяданию в F₂ от скрещивания генотипов с различными R-генами с линией масличного льна AGT 1538 (инфекционный фон – моноизолат 39 *F. oxysporum*), 2021 г. /

Table 3 – Segregation for resistance to Fusarium wilt in F₂ from crossing genotypes with different R-genes with the oil flax line AGT 1538 (infectious background – monoisolate 39 *F. oxysporum*), 2021

Ген / Gene <i>Fu</i> ♀	Гибридная комбинация / Hybrid combination	Соотношение фенотипов R:S / Phenotype ratio R:S		χ^2 / chi-square	Величина вероятности / Probability value
		фактическое / actual	теоретическое / theoretical		
2	Dakota, л. 8 × AGT 1538, л. 6	161:16	15:1	2,41	0,05-0,2
4	№ 3896 × AGT 1538, л. 6	150:13	15:1	0,83	0,2-0,5
5	Querandi, л. 1 × AGT 1538, л. 6	177:14	15:1	0,38	0,5-0,8
6	Currong, л. 3 × AGT 1538, л. 6	144:11	15:1	0,17	0,5-0,8
7	Roja, л. 8 × AGT 1538, л. 6	104:4	15:1	1,20	0,2-0,5
8	г-2101-4-7 × AGT 1538, л. 6	58:4	15:1	0,0001	< 0,99
8, 9	Родник / Rodnik, л. 8 × AGT 1538, л. 6	174:2	63:1	0,02	0,8-0,95
10	Linota / Linota, л. 12 × AGT 1538, л. 6	185:11	15:1	0,03	0,8-0,95
11	Ленок / Lenok, л. 6 × AGT 1538, л. 6	154:14	15:1	1,25	0,2-0,5

В комбинациях F₂, где в качестве материнской формы были использованы линии из образцов Dakota, № 3896, Querandi, Currong, Roja, г-2101-7-4, Linota и Ленок, а в качестве отцовской – линии масличного льна л. 12 AGT 987 и л. 3 Altess, практически во всех гибридных

популяциях выявлен дигенный характер расщепления – 15R:1S ($\chi^2 = 0,02...2,89$). Исключения составили популяции F₂ от скрещивания с линией из сорта Родник, устойчивость которой детерминруется двумя доминантными генами ($\chi^2 = 0,48$ и $2,13$ соответственно) (табл. 4). При

этом выделились гибридные популяции F₂ Ленок, л. 6 × л. 12 AGT 987 и F₂ № 3896 × л. 3 Altess, где расщепление отсутствовало, что указывает на идентичность генов устойчивости у исходных родительских форм. Полученные результаты

гибридологического анализа F₂ указывают, что устойчивость к фузариозному увяданию у исследуемых линий детерминирована эффективными генами – у л. 12 AGT 987 геном *Fu 11*, л. 3 Altess – *Fu 4*.

Таблица 4 – Расщепление по устойчивости к фузариозному увяданию в F₂ от скрещивания генотипов с различными R-генами с линиями AGT 987 и Altess (инфекционный фон – моноизолат 39 *F. oxysporum*), 2022-2023 гг. /

Table 4 – Segregation for resistance to Fusarium wilt in F₂ from crossing genotypes with different R-genes with lines AGT 987 and Altess (infectious background - monoisolate 39 *F. oxysporum*), 2022-2023

Ген / Gene <i>Fu</i> ♀	Гибридная комбинация / Hybrid combination	Соотношение фенотипов R:S / Phenotype ratio R:S		χ^2 / chi-square	Величина вероятности / Probability value
		фактическое / actual	теоретическое / theoretical		
2	Dakota, л. 8 × AGT 987, л. 12	158:5	15:1	1,17	0,2-0,5
5	Querandi, л. 1 × AGT 987, л. 12	179:9	15:1	0,7	0,2-0,5
6	Currong, л. 3 × AGT 987, л. 12	170:11	15:1	0,08	0,5-0,8
7	Roja, л. 8 × AGT 987, л. 12	170:11	15:1	0,08	0,5-0,8
8, 9	Родник / Rodnik, л. 8 × AGT 987, л. 12	188:2	63:1	0,48	0,2-0,5
10	Linota, л. 12 × AGT 987, л. 12	179:7	15:1	1,92	0,05-0,2
11	Ленок / Lenok, л. 6 × AGT 987, л. 12	185:0	-	-	-
2	Dakota, л. 8 × Altess, л. 3	173:16	15:1	1,59	0,2-0,5
4	№ 3896 × Altess, л. 3	163:0	-	-	-
5	Querandi, л. 1 × Altess, л. 3	162:9	15:1	2,89	0,05-0,20
6	Currong, л. 3 × Altess, л. 3	198:14	15:1	0,02	0,8-0,95
7	Roja, л. 8 × Altess, л. 3	144:8	15:1	0,25	0,5-0,8
8	г-2101-4 × Altess, л. 3	149:13	15:1	0,89	0,2-0,5
8, 9	Родник / Rodnik, л. 8 × Altess, л. 3	82:3	63:1	2,13	0,05-0,20
10	Linota, л. 12 × Altess, л. 3	190:7	15:1	2,43	0,05-0,20
11	Ленок / Lenok, л. 6 × Altess, л. 3	136:3	15:1	1,75	0,05-0,20

Закключение. В результате проведенных исследований выявлено 10 селекционных линий и сортов отечественной и зарубежной селекции, проявивших высокий уровень устойчивости как к популяции возбудителя *Fusarium oxysporum f. lini*, так и высоковирулентному моноизолату 39, что указывает на наличие у них высокоэффективных R-генов устойчивости к фузариозному увяданию. С использованием метода гибридологического анализа идентифицированы эффективные гены устойчивости к патогену у линий масличного льна л. 12 AGT 987 – ген *Fu 11* и л. 3 Altess – *Fu 4*. У линии 6 AGT 1538

выявлен ранее неизвестный ген устойчивости – *Fu 12*. При этом линии 6 AGT 1538 и 12 AGT 987 отличаются низким содержанием линоленовой кислоты в масле, что важно для обеспечения его длительной сохранности от прогоркания при хранении. Таким образом, генетическая коллекция масличного льна по устойчивости к фузариозному увяданию расширилась за счет включения в нее трех новых генетических источников, в том числе обладающих генами *Fu 11* и *Fu 12*, которые ранее не были идентифицированными у данной культуры.

Список литературы

1. Косых Л. А. Лен масличный – культура пищевого использования (обзор). Аграрная наука. 2021;(10):56-59. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59> EDN: ZQRRJV
2. Цыганова Т. Б., Миневиц И. Э., Зубцов В. А. К вопросу о пищевой безопасности семян льна и продуктов их переработки. Хлебопечение России. 2017;(2):23-26.
3. Султаева Н. Л., Перминова В. С. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий. Интернет-журнал «Науковедение». 2015;7(1). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/145TVN115.pdf>

4. Пороховинова Е. А., Павлов А. В., Брач Н. Б., Морван К. Углеводный состав слизи из семян льна и его связь с морфологическими признаками. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(1):161-171. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.161rus> EDN: YFQFGX
5. Голуб И. А., Андроник Е. Л., Иванова Е. В. Лен масличный: тенденции производства и использования. Земледелие и защита растений. 2017;(4):32-35.
6. Fila G., Bagatta M., Maestrini C., Potenza E., Matteo R. Linseed as a dual-purpose crop: evaluation of cultivar suitability and analysis of yield determinants. The Journal of Agricultural Science. 2018;156(2):162-176. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000114>
7. Калиакпарова Г. Ш., Гриднева Е. Е. Лен как глобальный сырьевой ресурс Казахстана. Вестник университета Туран. 2019;81(1):74-78. Режим доступа: https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/643?locale=ru_RU EDN: DPDBTM
8. Зеленцов С. В., Рябенко Л. Г., Мошненко Е. В., Зеленцов В. С. Селекция масличного льна на устойчивость к льноутомлению для короткороотационных севооборотов засушливых регионов юга России. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(6):9-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26591632> EDN: WJXNIT
9. Курилова Д. А., Семеренко С. А. Защита посевов масличного льна от фузариоза в условиях Центральной зоны Краснодарского края. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(4):167-171. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-167-171> EDN: VSNOGC
10. Лошакова Н. И. Идентификация рас возбудителя фузариоза льна и определения их вирулентности для целей селекции. Селекция, семеноводство, агротехника, экономика и первичная обработка льна-долгунца: сб. тр. ВНИИЛ. Торжок: ООО «Вариант», 2002. С. 44-47.
11. Рожмина Т. А., Лошакова Н. И. Образцы прядильного и масличного льна (*Linum usitatissimum* L.) – источники эффективных генов устойчивости к фузариозному увяданию и ее зависимость от температуры. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(3):310-317. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.310rus> EDN: WJCSBR
12. Рожмина Т. А. Селекционно-ценные гены устойчивости к фузариозному увяданию у льна. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(12):47-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25279745> EDN: VHFCSV
13. Sánchez-Martín J., Keller B. Contribution of recent technological advances to future resistance breeding. Theoretical and Applied Genetics. 2019;132:713-732. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-019-03297-1>
14. Kourelis J., Van der Hooft R. A. L. Defended to the Nines: 25 Years of Resistance Gene Cloning Identifies Nine Mechanisms for R Protein Function. Plant Cell. 2018;30(2):285-299. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.17.00579>
15. Krasnov G. S., Pushkova E. N., Novakovskiy R. O., Kudryavtseva L. P., Rozhmina T. A., Dvorianina E. M., Povkhova L. V., Kudryavtseva A. V., Dmitriev A. A., Melnikova N. V. High-quality genome assembly of *Fusarium oxysporum* f. sp. lini. Frontiers in Genetics. 2020;11:959. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00959>
16. Зеленцов В. С., Рябенко Л. Г., Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Овчарова Л. Р., Сляров С. В. Сорт масличного льна БИ 117. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(4):181-184. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-181-184> EDN: FCGLPG
17. Рожмина Т. А., Голубева Л. М. Эффективные гены устойчивости к фузариозному увяданию у современных сортов льна-долгунца. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(4):37-41. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-37-41> EDN: YVEINF

References

1. Kosykh L. A. Oil flax – food culture (review). *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(10):56-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59>
2. Tsyganova T. B., Minevich I. E., Zubtsov V. A. To the question of food safety of flax seeds and products of their processing. *Khlebopechenie Rossii* = Baking in Russia. 2017;(2):23-26. (In Russ.).
3. Sultaeva N. L., Perminova V. S. Study of the properties of flax seeds and development of the technology of bakery products on their basis to service catering. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2015;7(1). (In Russ.). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/145TVN115.pdf>
4. Porokhovinova E. A., Pavlov A. V., Brach N. B., Morvan K. Carbohydrate composition of flax mucilage and its relation to morphological characters. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(1):161-171. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.161rus>
5. Golub I. A., Andronik E. L., Ivanova E. V. Oilseed flax: production and use trends. *Zemledelie i zashchita rasteniy*. 2017;(4):32-35. (In Belarus).
6. Fila G., Bagatta M., Maestrini C., Potenza E., Matteo R. Linseed as a dual-purpose crop: evaluation of cultivar suitability and analysis of yield determinants. The Journal of Agricultural Science. 2018;156(2):162-176. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000114>

7. Kaliakparova G. S., Gridneva Y. Y. Flax as a global raw material resource of Kazakhstan. *Vestnik universiteta «Turan»* = Bulletin of «Turan» University. 2019;(1):74-78. (In Russ.).
URL: https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/643?locale=ru_RU
8. Zelentsov S. V., Ryabenko L. G., Moshnenko E. V., Zelentsov V. S. Breeding of oil flax for resistance to flax sickness of soil for brief-crop rotation of the arid regions of the southern Russia areas. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(6):9-11. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26591632>
9. Kurilova D. A., Semerenko S. A. Protection of oil flax sowings of fusariose in the central zone of the Krasnodar region. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(4):167-171. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-167-171>
10. Loshakova N. I. Identification of races of the causative agent of flax fusarium and determination of their virulence for breeding purposes. Selection, seed production, agricultural technology, economics and primary processing of fiber flax: collection. tr. Torzhok: OOO «Variant», 2002. pp. 44-47.
11. Rozhmina T. A., Loshakova N. I. New sources of effective resistance genes to fusarium wilt in flax (*Linum usitatissimum* L.) depending on temperature. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(3):310-317. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.310rus>
12. Rozhmina T. A. Valuable for breeding genes of resistance to fusarium wilt of flax. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(12):47-49. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25279745>
13. Sánchez-Martín J., Keller B. Contribution of recent technological advances to future resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2019;132:713-732. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-019-03297-1>
14. Kourelis J., Van der Hoorn R. A. L. Defended to the Nines: 25 Years of Resistance Gene Cloning Identifies Nine Mechanisms for R Protein Function. *Plant Cell*. 2018;30(2):285-299. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.17.00579>
15. Krasnov G. S., Pushkova E. N., Novakovskiy R. O., Kudryavtseva L. P., Rozhmina T. A., Dvorianinova E. M., Povkhova L. V., Kudryavtseva A. V., Dmitriev A. A., Melnikova N. V. High-quality genome assembly of fusarium oxysporum f. sp. lini. *Frontiers in Genetics*. 2020;11:959. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00959>
16. Zelentsov V. S., Ryabenko L. G., Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Ovcharova L. R., Slyarov S. V. The oil flax variety Y 117. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(4):181-184. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-181-184>
17. Rozhmina T. A., Golubeva L. M. Effective genes of resistance to fusarium wilt in modern fiber flax varieties. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(4):37-41. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-37-41>

Сведения об авторах

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

Мясникова Анастасия Владимировна, инженер-исследователь, Научно-исследовательский институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: vniiil.sekretar@mail.ru

Information about the authors

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

Anastasija V. Myasnikova, research engineer, Flax Research Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: vniiil.sekretar@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.989-998>
УДК 574.472



Бактериальное сообщество сельскохозяйственных почв, используемых для возделывания картофеля в Свердловской области

© 2023. Е. П. Шанина, Г. А. Лиходеевский ✉

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

На урожайность картофеля и других сельскохозяйственных культур оказывает влияние множество факторов, один из главнейших – комплексное состояние почвы. В исследованиях почв чаще делают акцент на определение ее физико-химических свойств, но редко учитывают бактериальное сообщество и его разнообразие. В работе проведена оценка бактериальной микробиоты почв, на которых возделывается картофель. С помощью метабаркодирования и полнофрагментного секвенирования участка 16S рРНК, методом нанопорового секвенирования в 2022 г. был проведён первичный скрининг бактериального сообщества полей в трёх административных районах Свердловской области: город Екатеринбург, Белоярский и Сысертский районы. В результате до уровня вида была определена 2371 операционная таксономическая единица (ОТЕ). Более половины относительного бактериального обилия занимал филум *Proteobacteria*. Более трети всего бактериального сообщества приходилось на три порядка: *Burkholderiales*, *Hyphomicrobiales* и *Acidobacteriales*. Наиболее распространены в обрабатываемых сельскохозяйственных почвах Свердловской области рода бактерий: *Bradyrhizobium*, *Massilia*, *Gaiella*, *Sphingomonas*, *Lysobacter* и *Gemmatimonas*. Полученные результаты анализа альфа- и бета-разнообразия позволили заключить, что, несмотря на статистически значимую разницу в численности обнаруженных ОТЕ между некоторыми полями, различие в их разнообразии по объектам исследования в административных районах Свердловской области отсутствует.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., микробиота, почва, биоразнообразие, секвенирование

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения подпрограммы КПНИ «Селекция и семеноводство картофеля».

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шанина Е. П., Лиходеевский Г. А. Бактериальное сообщество сельскохозяйственных почв, используемых для возделывания картофеля в Свердловской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):989-998. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.989-998>

Поступила: 03.07.2023

Принята к публикации: 09.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Bacterial community of agricultural soils used for potato cultivation in Sverdlovsk region

© 2023. Elena P. Shanina, Georgiy A. Lihodeevskiy ✉

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

The yield of potatoes and other crops is influenced by many factors, one of the most important is the complex condition of the soil. Soil research more often focuses on the determination of its physical and chemical properties, but rarely takes into account the bacterial community and its diversity. In this work, the bacterial microbiota of soils cultivated with potato was evaluated. Using metabarcoding and full-fragment sequencing of the 16S rRNA site, by nanopore sequencing, primary screening of the bacterial community of fields in three administrative districts of the Sverdlovsk region: the city of Yekaterinburg, Beloyarsky and Sysertsky districts was carried out in 2022. As a result, 2371 operational taxonomic units (OTUs) were identified to the species level. More than half of the relative bacterial abundance is occupied by the phylum *Proteobacteria*. Three orders represent more than one-third of the total bacterial community: *Burkholderiales*, *Hyphomicrobiales*, and *Acidobacteriales*. The most common bacterial genera in cultivated agricultural soils of the Sverdlovsk region are *Bradyrhizobium*, *Massilia*, *Gaiella*, *Sphingomonas*, *Lysobacter* and *Gemmatimonas*. The obtained results of alpha- and beta-diversity analysis allow us to conclude that, despite the statistically significant difference in the number of detected OTUs between some fields, there is no difference in their diversity by study objects in the administrative districts of the Sverdlovsk region.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., microbiota, soil, biodiversity, sequencing

Acknowledgements: the work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the implementation of the CSRP subprogram "Breeding and seed production of potatoes".

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

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

For citation: Shanina E. P., Lihodeevsky G. A. Bacterial community of agricultural soils used for potato cultivation in Sverdlovsk region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):989-998. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.989-998>

Received: 03.07.2023

Accepted for publication: 09.11.2023

Published online: 20.12.2023

Трудно найти такую же важную экосистему для сельского хозяйства, как почва, значительная доля всего разнообразия агроэкосистем заключена в ней. Почвенная микробиота, представленная бактериями и грибами, играет чрезвычайно важную роль в круговороте питательных веществ и жизненно важных элементов, оказывает прямое и косвенное влияние на растения, продуктивность почв [1, 2]. Бактерии и грибы вносят значительный вклад в эффективность использования воды и питательных веществ, что в конечном итоге отражается на продуктивности растений [3]. При этом изменение биоразнообразия микроорганизмов может служить индикатором нарушений в землепользовании. Качественное и количественное описание микробиологических сообществ почв вызывает большой интерес во всём мире как потенциальный инструмент для оценки состояния почвы [4, 5]. Отмечено влияние микробиоты и на проявление биотических стрессов у растений, в частности на способность предотвращать [6, 7] или, наоборот, благоприятствовать развитию мягкой гнили картофеля [8].

Комиссией EFSA по средствам защиты растений подчёркивается комплексность и недостаточная изученность микробиологического разнообразия, в то же время указывается на необходимость его сохранения [9].

Работы, связанные с изучением влияния бактериальных сообществ на рост и развитие картофеля, показали видовую специфичность бактерий в отношении последнего (по сравнению с другими культурами) и изменение видового состава микробиоты в зависимости от стадии роста растений [10]. Другие исследователи отмечают влияние самой культуры на микробиоту; так, от сортовой принадлежности картофеля зависит сложность и устойчивость микробиологического сообщества [11]. Помимо этого, бактерии, ассоциированные с поверхностью клубней, представляют особый интерес как возможный фактор, определяющий урожай картофеля и его хранение [12]. К тому же видовой состав таких бактериальных сообществ изменяется от вида внесённых в почву удобрений [13].

Применение в технологии возделывания картофеля мульчирования почв полиэтиленовыми плёнками, позволяющими удерживать влагу, оказывает положительное влияние на состав и разнообразие микробиоты, что, в свою очередь, ведёт к увеличению урожайности по сравнению с немulчированными почвами. Контроль качества микробиоты также важен, поскольку спровоцированные некоторыми грибами болезни картофеля, такие как фитофтороз и сухая гниль, имеют более высокую частоту встречаемости в условиях непрерывного земледелия [14].

Цель исследований – изучить разнообразие бактериальных сообществ сельскохозяйственных земель Свердловской области, используемых для культивирования картофеля.

Новизна исследований – впервые проведена работа по описанию бактериального разнообразия сельскохозяйственных угодий Свердловской области, занятых посадками картофеля, и сделан первый шаг к изучению метаболома сельскохозяйственных почв на Урале.

Материал и методы. *Отбор почвенного материала.* Отбор образцов проводили с восьми полей, расположенных в трёх административных районах Свердловской области (табл. 1). Почва на данных полях обрабатывается под пропашные культуры (картофель) традиционными способами, включая осеннюю вспашку и весеннюю культивацию. На всех полях используется четырёхпольный севооборот: в Белоярском районе – кукуруза, пшеница, пшеница, картофель; в Екатеринбурге – пшеница с подсевом клевера, клевер второго года пользования, чистый пар, картофель; Сысертский район: овёс с подсевом клевера, клевер второго года пользования, однолетние травы, картофель. Почва на исследованных полях относится к подтипу дерново-подзолистых, разновидностей суглинистых средних. Для отбора образцов использовали метод конверта, площадки закладывали на расстоянии 10 метров от краёв поля. Из-за разницы размеров площадей исследуемых полей они были разбиты на две группы – до 10 га и более 10 га,

размеры сторон квадратных площадок составляли 25 и 150 метров соответственно. Отбор образцов проводили во время вегетации картофеля – через два месяца с даты посадки. С каждой площадки отбирали по пять точечных проб почвы в стерильные банки для медицинских анализов с помощью стерильных шпа-

телей на глубине 5-10 см от поверхности. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) и реакцию почвенной среды ($pH_{\text{кол}}$, ГОСТ 26483-85) определяли в объединённой пробе, сложенной из отобранных точечных образцов. Анализ проводили в аналитической лаборатории Уральского НИИСХ.

Таблица 1 – Расположение и площадь полей, на которых проводился отбор почвенных образцов / Table 1 – Location and area of fields where soil samples were taken

Поле / Field	Район / District	Площадь, га / Area, ha
Б1 / B1	Белоярский район / Beloyarsky District	19,8
Б2 / B2	Белоярский район / Beloyarsky District	26,2
Е1	г. Екатеринбург / Yekaterinburg	15,6
Е2	г. Екатеринбург / Yekaterinburg	0,46
Е3	г. Екатеринбург / Yekaterinburg	4,1
Е4	г. Екатеринбург / Yekaterinburg	4,8
Е5	г. Екатеринбург / Yekaterinburg	3,5
С1 / S1	Сысертский район / Sysertsky District	24,1

Подготовка библиотеки и секвенирование образцов. Для выделения микробной ДНК из почвенных образцов использовали набор «innuSPEEDSoil DNA Kit» компании AnalytikJena (Германия). Масса навески составила 200 мг. Для всех образцов потребовалась дополнительная очистка на магнитных частицах AMPureXP в соответствии с рекомендуемым протоколом. Качество выделения и концентрацию ДНК проводили спектрофотометрическим методом на приборе Nano 200.

Для пробоподготовки секвенирования фрагментов 16S рРНК использовали набор реагентов для метабаркодирования бактериального метагенома «16S BarcodingKit 1-24» SQK-16S024 компании Oxford Nanopore Technologies. В данный набор для метабаркодирования включены праймеры 27F и 1492R с экстра-последовательностями на 5'-конце (баркодами). Для проведения ПЦР использовали Tersus набор от Евроген (Россия): 10X Tersus-буфер – 5 мкл; дНТФ – 1,5 мкл; Tersus-pol – 1 мкл; раствор праймеров с баркодами из набора SQK-16S024 – 10 мкл; вода – 22,5; матрица 10 мкл суммарный объём реакционной смеси 50 мкл. Протокол амплификации: 95 °C – 3 минуты; 29 циклов 95 °C – 20 секунд;

55 °C – 20 секунд; 72 °C – 1,5 минуты; 72 °C – 5 минут.

ПЦР-продукты очищали с помощью реагента AMPureXP в соответствии с рекомендуемым протоколом. Измерение концентрации и чистоты ампликонов проводили спектрофотометрически. В соответствии с полученными результатами проверки концентрации, образцы пулировали в общую библиотеку секвенирования, которое проводили на приборе MinION Mk1C, используя проточную ячейку для нанопорового секвенирования R9.4.1.

Биоинформатический анализ. Полученные файлы в формате fast5 переводили в fastq с помощью программного обеспечения Guppy v6.0¹. Для получения операционных таксономических единиц (ОТЕ) использовали облачный инструмент Epi2Me с программой анализа Fastq 16S, где чтения сравниваются с последовательностями 16S базы данных NCBI², и таксономическая принадлежность определяется методом присвоения. Анализ Fastq 16S запускали со следующими параметрами: минимальная длина чтения 500 нуклеотидных пар; максимальная длина чтения 2000 н.п.; минимальное покрытие 50 %; минимальный коэффициент идентичности ≥ 97 .

¹Программное обеспечение Guppy v6.0. [Электронный ресурс].

URL: <https://community.nanoporetech.com/posts/guppy-v6-0-1-patch-release> (дата обращения: 24.06.2022).

²NCBI RefSeq Targeted Loci Project. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/refseq/targetedloci/> (дата обращения: 26.06.2023).

Дальнейшую работу проводили в среде статистической обработки данных R³. С помощью пакета OTUtable [15] осуществляли фильтрацию по обилию ОТЕ ($\geq 0,01$).

Оценку альфа- и бета-разнообразия проводили с помощью пакетов phyloseq [16] и vegan⁴, результаты считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Таблица 2 – Гумусированность и кислотность дерново-подзолистого почвенного профиля в исследуемых образцах / Table 2 – Humus content and acidity of sod-podzolic soil in the studied samples

Поле / Field	Содержание гумуса, % / Humus content, %	pH / pH	Характеристика почвы / Soil characteristics	Район / District
Б1 / B1	4,9	5,36	Сильногумусная слабокислая / Highly humus Sub-acid	Белоярский район / Beloyarsky District
Б2 / B2	5,1	6,26	Сильногумусная нейтральная / Highly humus Neutral	
Е1	4,54	4,62	Сильногумусная среднекислая / Highly humus Medium acid	г. Екатеринбург / Yekaterinburg
Е2	2,91	5,73	Среднегумусная слабокислая / Medium humus Sub-acid	
Е3	4,45	4,95	Сильногумусная среднекислая / Highly humus Medium acid	
Е4	4,14	4,29	Сильногумусная сильнокислая / Highly humus Highly acid	
Е5	4,40	4,32		
С1 / S1	5,46	5,65	Сильногумусная слабокислая / Highly humus Sub-acid	Сысертский район / Sysertsy District

К сожалению, из-за малого объёма выборок, затруднительно корректно оценить различия в доле гумуса и кислотности между почвами изучаемых полей. Однако оценка различий почв полей города Екатеринбурга и Белоярского района по этим показателям с помощью U-критерия Манна-Уитни демонстрирует, что значимая разница между ними отсутствует ($p > 0,05$).

Отличительной особенностью высокопроизводительного нанопорового секвенирования от существующих технологий второго поколения, например Illumina, является возможность получения чтений (сиквенсов) неограниченной длины. В то время как используя технологию коротких чтений для целей мета-баркодирования бактериальных сообществ, исследователи ограничены V3-V4 регионом гена 16S, нанопоровое секвенирование позволяет получать чтения полного 16S гена.

Результаты и их обсуждение. По результатам определения содержания гумуса, можно заключить, что почвы на всех полях, кроме поля Е2, относятся к сильногумусным ($> 4\%$) (табл. 2). По уровню кислотности выделяются сильнокислые (диапазон 4,0-4,5), среднекислые (4,5-5,0), слабокислые (5,0-6,0) и нейтральные (6,0-7,5) почвы.

Это делает доступным проведение таксономических определений до уровня вида, несмотря на ограничения, связанные с качеством секвенирования [17, 18]. В нашей работе, по результатам нанопорового секвенирования было получено 4453738 нуклеотидных чтений со средней длиной 1508 пар нуклеотидов и со средним показателем качества 13,4. По итогам анализа Fastq 16S 656713 чтений или около 16417±9817 на пробу было идентифицировано до видового уровня (коэффициент идентичности ≥ 97). Дополнительно проводили фильтрацию по обилию ОТЕ, соотнесённых с 2371 видом (1868±330 ОТЕ на образец). Чтения, не определённые до видового уровня, а соотнесённые только с более высокими таксономическими рангами, были удалены из дальнейшего анализа. Суммарно для дальнейшей работы было доступно 614532 чтения или 15363±9194 чтения на образец (табл. 3).

³R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 27.06.2023).

⁴Oksanen J., Simpson G. L., Blanchet F. G., Kindt R., Legendre P., Minchin P. R., et. al. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-2. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (дата обращения: 29.06.2023).

Таблица 3 – Результат определения ОТЕ методом таксономического присвоения /
Table 3 – Result of OTU determination by taxonomic assignment

Поле / Field	Количество классифицированных чтений / Number of classified reads	Количество ОТЕ видового уровня и соответствующие им более высокие таксономические ранги / Number of OTUs of species level and corresponding higher taxonomic ranks				Район / District
		виды / species	рода / genera	порядки / orders	филюмы / phyla	
Б1 / B1	53212	1817	479	34	12	Белоярский район / Beloyarsky District
Б2 / B2	64443	1978	507	37	14	
Е1	104312	2031	498	33	12	г. Екатеринбург / Yekaterinburg
Е2	15298	1112	378	30	13	
Е3	132561	2170	525	33	13	
Е4	54051	1821	481	35	14	
Е5	139908	2106	517	35	14	
С1 / S1	50747	1910	496	37	14	Сысертьский район / Sysertsy District
Все поля/ All fields	614532	2371	565	58	15	Все районы / All Districts

Стоит отдельно отметить, что помимо трудностей, связанных с массой навески [19, 20] и смещениями, возникающих при амплификации, в определении истинного разнообразия играет роль и различие в числе копий гена 16S у разных таксонов [21]. Коррекция метагеномных данных по числу копий остаётся нерешённой проблемой [22], а базы данных, например rncdb [23], хоть и насчитывают 1452 рода бактерий с известной вариативностью числа копий гена 16S⁵, но предоставляют лишь обобщённые данные по видам. Отсутствие более полных данных является существенным препятствием, а разработанные сегодня подходы к нормализации по числу копий 16S не улучшают результаты анализа в метатаксономических исследованиях [24]. Также нормализация по числу копий не всегда оправдана, поскольку имеет ограниченное влияние на результат исследования бета-разнообразия [25].

В ходе нашей работы мы определили, что более половины бактериального сообщества составляют представители филума *Proteobacteria* – 62,9 %; из них самый многочисленный порядок в исследованных образцах *Burkholderiales*, который занимает от 13,1 до 28,2 % разнообразия сообщества (рис. 1). Порядку принадлежат бактерии, населяющие почву, в том числе встречаются патогены растений, например род *Ralstonia* [26], представители этого порядка также способны вызвать серьёзные заболевания человека [27]. Следующие по распространённости порядки бактерий: *Hyphomicrobiales* (филум *Proteobacteria*) и *Acido-*

bacteriales (филум *Acidobacteria*) с максимальными частотами в образцах 27,1 и 17,1 % соответственно. Порядок *Rhizobiales* (*Hyphomicrobiales*) включает азотфиксирующие клубеньковые бактерии, например семейства *Nitrobacteraceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Phyllobacteriaceae* и *Rhizobiaceae*, а также род *Agrobacterium*, представители которого способны к горизонтальному переносу своих генов в растения и вызывают у последних опухоли [28]; *Acidobacteriales* и родственные им виды филума *Acidobacteria* широко представлены по всему миру во множестве различных субстратов [29]. Наиболее многочисленными, составляющими более 5 % от общего числа обнаруженных родов, являются: *Bradyrhizobium*, *Massilia*, *Gaiella*, *Sphingomonas*, *Lyso-*
bacter и *Gemmatimonas*. Род *Lyso-*
bacter включает виды, подавляющие почвенные нематоды и грибок *Rhizoctonia*, вызывающий ризоктониоз картофеля [30, 31]. Виды родов *Bradyrhizobium* (азотфиксирующие бактерии [32, 33]) и *Gemmatimonas* (почвенные бактерии, накапливающие полифосфаты [34]), представители рода *Massilia* – это ризосферные эндофитные бактерии [35]. Род *Sphingomonas* содержит бактерии, которые могут: разлагать полициклические ароматические углеводороды [36]; разлагать некоторые гербициды [37]; образовывать симбиозы с бобовыми [38]. Род *Gaiella* включает единственный вид *Gaiellaocculta*, который встречается во множестве почвенных образцов [39, 40, 41].

⁵База данных rncdb. [Электронный ресурс]. URL: <https://rncdb.umms.med.umich.edu/static/download/> (дата обращения: 30.06.2023).

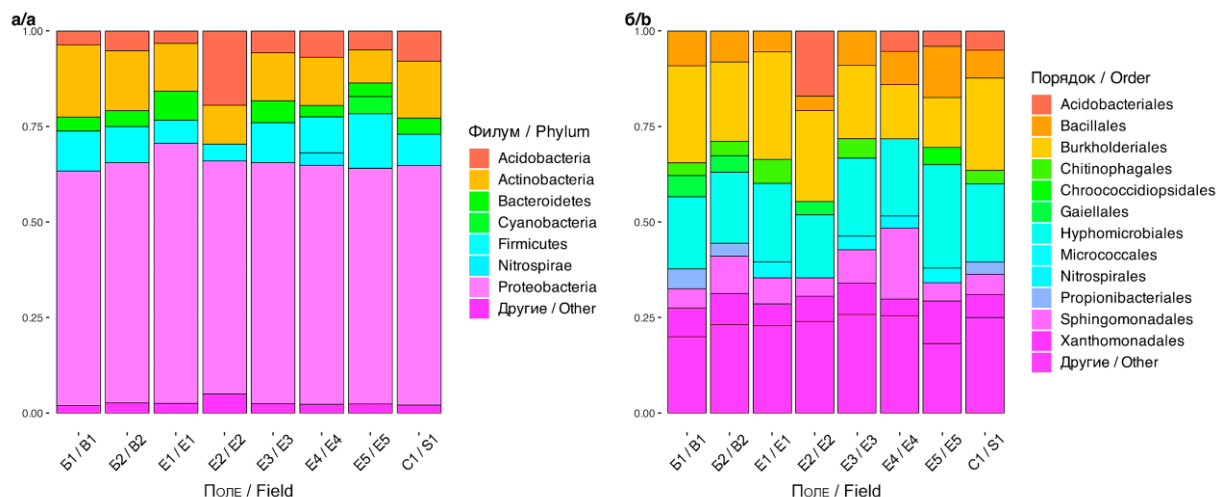


Рис. 1. Относительное обилие таксономических групп бактериального сообщества сельскохозяйственных полей Свердловской области: а – филум; б – порядок /

Fig. 1. Relative abundance of taxonomic groups of the bacterial community of agricultural fields in the Sverdlovsk region: a – Phylum; b – Order

Перед проведением оценки биологического разнообразия проводили нормализацию данных и фильтрацию по количеству обнаруженных ОТЕ в поле. В результате фильтрации из анализа было исключено поле E2 (<50000 чтений). Нормализацию проводили методом «случайной подвыборки» и на выходе получили более сбалансированные данные обилий ОТЕ: в среднем 51284 ОТЕ по каждому полю

или 10256 ± 982 на образец. Из анализа исключили 53 ОТЕ (вида), обилие которых после нормализации оказалось ниже заданного порога ($>0,01$). Альфа-разнообразие оценивали в количестве ОТЕ на видовом уровне. Наблюдаемое альфа-разнообразие между полями в целом было однородно за исключением пар полей: E3-B1, E3-E5 (рис. 2); альфа-разнообразие между полями значительно различалось ($p < 0,05$).

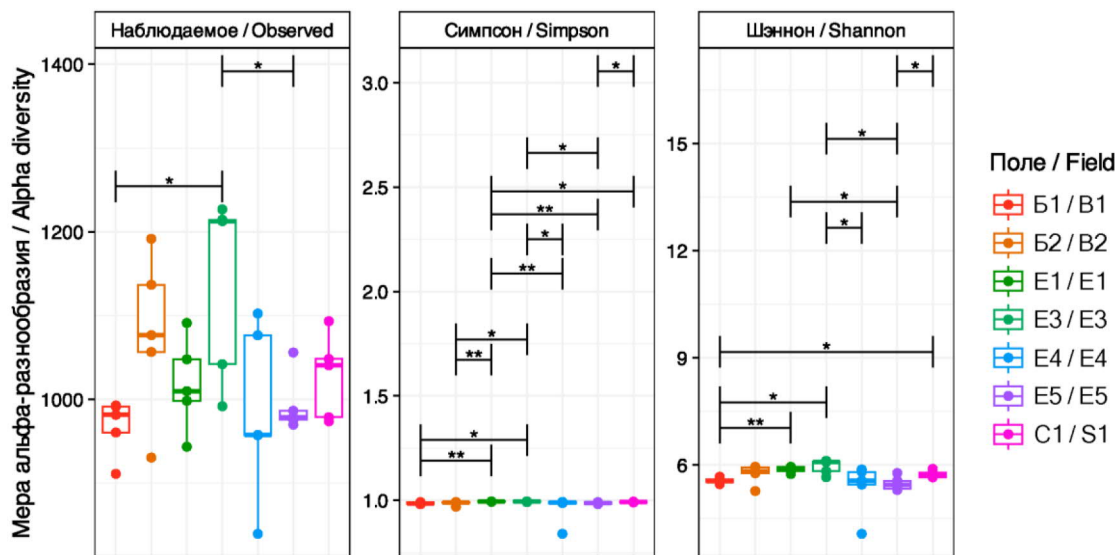


Рис. 2. Альфа-разнообразие бактериального сообщества исследованных полей Свердловской области, наблюдаемое и оцененное по Шэннону и Симпсону. Прямоугольники представляют нижний и верхний квартили, утолщённые горизонтальные линии внутри прямоугольников представляют медиану, вертикальные линии, проходящие от прямоугольника к наименьшим и наибольшим значениям, отдельные точки – выбросы. Горизонтальные отрезки над прямоугольниками представляют попарные сравнения: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ /

Fig. 2. Alpha diversity of the bacterial community of the studied fields in the Sverdlovsk region observed and estimated by Shannon and Simpson. Rectangles represent the lower and upper quartiles, thick horizontal lines, inside the rectangles, represent the median, vertical lines running from the rectangle to the lowest and highest values, individual points are outliers. Horizontal segments above the rectangles represent pairwise comparisons: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

По причине малого количества образцов на поле ($n = 5$) для проверки равенства медиан использовали критерий Краскела-Уоллиса. Оценки индексов Симпсона и Шеннона демонстрируют больше достоверных различий в численности видов ($p < 0,05$) между парами полей разных районов Свердловской области и внутри района г. Екатеринбурга.

По причине малого числа и разного количества образцов в районе, для оценки бета-разнообразия использовали непараметрические методы. Оценку бета-разнообразия проводили с помощью NMDS – неметрическое

многомерное масштабирование и ANOSIM – анализ сходства. Оба метода показывают однородность бактериальных сообществ трёх исследованных районов. Наблюдается равномерное распределение точек между районами, а кластеры разных районов пересекаются и формируют общее облако точек (рис. 3). По результатам анализа сходства, статистически значимая разница в видовом разнообразии микробных сообществ между районами отсутствует ($p > 0,05$). Проведённая попарная оценка сходства между районами также не показала достоверных различий (табл. 4).

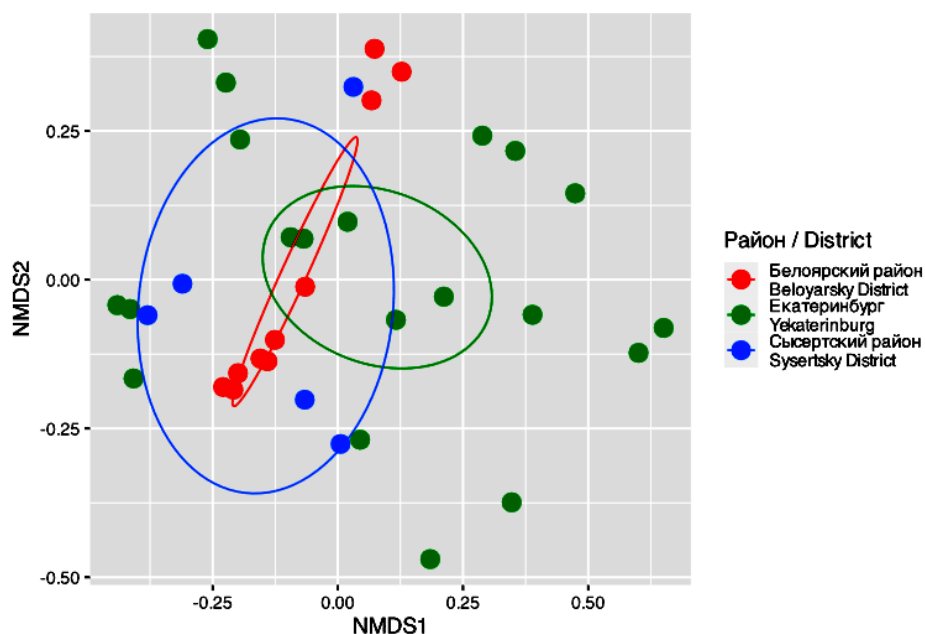


Рис. 3. Бета-разнообразие бактериальных сообществ исследованных районов Свердловской области методом NMDS. Эллипсы вокруг барицентров районов отражают 95%-ный доверительный интервал /

Fig. 3. Beta diversity of bacterial communities of the studied districts of the Sverdlovsk region by NMDS method. Ellipses show 95% confidence interval around barycentres of Districts

Таблица 4 – Результат попарных оценок ANOSIM исследованных районов /

Table 4 – Result of pairwise ANOSIM scores of the investigated districts

Район 1 / District 1	Район 2 / District 2	p-значение / p-value
Белоярский район / Beloyarsky District	Екатеринбург / Yekaterinburg	0,180
Белоярский район / Beloyarsky District	Сысертский район / Sysertsy District	0,068
Екатеринбург / Yekaterinburg	Сысертский район / Sysertsy District	0,656

Закключение. Впервые для сельскохозяйственных угодий Свердловской области, занятых посадками картофеля, было проведено определение филогенетического разнообразия почвенных бактерий методом метабаркодирования.

По содержанию гумуса и уровню кислотности между почвами полей из разных админи-

стративных районов не обнаружено значимых различий. В результате нанопорового секвенирования полного 16S бактериального фрагмента и последующего установления таксономической принадлежности свыше 600 тысяч чтений были определены до 2371 операционной таксономической единицы на видовом уровне.

Наиболее многочисленным филумом в обрабатываемых сельскохозяйственных почвах разных полей Свердловской области выделился филум *Proteobacteria* и порядок *Burkholderiales*. Наиболее многочисленными и обнаруженными во всех исследованных полях оказались ОТЕ, относящиеся к родам: *Bradyrhizobium*, *Massilia*, *Gaiella*, *Sphingomonas*, *Lysobacter* и *Gemmatimonas*.

Анализ альфа-разнообразия ОТЕ на уровне вида между полями показал, что в целом наблюдаемая численность видов значимо не различается, за исключением поля ЕЗ, численность обнаруженных ОТЕ внутри которого

значимо выше по сравнению с полями Б1 и Е5. Оценки разнообразия, проведенные с помощью индексов Симпсона и Шеннона, выявляют больше значимых различий между полями, принадлежащими разным или одному административным районам Свердловской области. Несмотря на наблюдаемые различия в альфа-разнообразии между отдельными полями, бета-разнообразие демонстрирует однородность таксономического состава бактериальных сообществ. В ходе исследования не обнаружено значимых различий как в целом по всем исследованным районам, так и в попарных сравнениях.

References

1. Young I. M., Crawford J. W. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. *Science*. 2004;304(5677):1634-1637. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1097394>
2. Roger-Estrade J., Christel A., Bertrand M., Richard G. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*. 2010;111(1):33-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.010>
3. Brussaard L., Ruiter P., Brown G. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2007;121(3):233-244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>
4. Zelles L. Fatty acids patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: a review. *Biology and Fertility of Soils*. 1999;29:111-129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740050533>
5. Zornoza R., Guerrero C., Mataix-Solera J., Scow K. M., Arcenegui V., Mataix-Beneyto J. Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain. *Appl Soil Ecol*. 2009;42(3):315-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.05.011>
6. Fűrnkranz M., Lukesch B., Müller H., Huss H., Grube M., Berg G. Microbial diversity inside pumpkins: Microhabitat-specific communities display a high antagonistic potential against phytopathogens. *Microbial Ecology*. 2012;63:418-428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9942-4>
7. Glassner H., Zchori-Fein E., Compant S., Sessitsch A., Katzir N., Portnoy V., Yaron S. Characterization of endophytic bacteria from cucurbit fruits with potential benefits to agriculture in melons (*Cucumis melo* L.). *FEMS Microbiology Ecology*. 2015;91(7):fiv074. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiv074>
8. Kõiv V., Roosaare M., Vedler E., Ann Kivistik P., Toppi K., Schryer D. W., Remm M., Tenson T., Mäe A. Microbial population dynamics in response to *Pectobacterium atrosepticum* infection in potato tubers. *SciRep*. 2015;5:11606. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep11606>
9. EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), Ockleford C., Adriaanse P., Berny P., Brock T., Duquesne S., Grilli S., Hernandez-Jerez A. F., Bennekou S. H., Klein M., Kuhl M., Laskowski R., Mache-ra K., Pelkonen O., Pieper S., Stemmer M., Sundh I., Teodorovic I., Tiktak A., Topping C. J., Wolterink G., Craig P., de Jong F., Manachini B., Sousa P., Swarowsky K., Auteri D., Arena M., Rob S. Scientific Opinion addressing the state of the science on risk assessment of plant protection products for in-soil organisms. *EFSA Journal*. 2017;15(2):e04690. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4690>
10. Inceoglu Ö., van Overbeek L. S., Falcão Salles J., van Elsas J. D. Normal operating range of bacterial communities in soil used for potato cropping. *Applied and Environmental Microbiology*. 2013;79(4):1160-1170. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02811-12>
11. Gu S., Xiong X., Tan L., Deng Y., Du X., Yang X., Hu Q. Soil microbial community assembly and stability are associated with potato (*Solanum tuberosum* L.) fitness under continuous cropping regime. *Front Plant Sci*. 2022;13:1000045. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1000045>
12. Buchholz F., Antonielli L., Kostić T., Sessitsch A., Mitter B. The bacterial community in potato is recruited from soil and partly inherited across generations. *PLoS One*. 2019;14(11):e0223691. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223691>
13. Kracmarova M., Karpiskova J., Uhlik O., Strejcek M., Szakova J., Balik J., Demnerova K., Stiborova H. Microbial communities in soils and endosphere of *Solanum tuberosum* L. and their response to long-term fertilization. *Microorganisms*. 2020;8(9):1377. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091377>

14. Qin S., Yeboah S., Xu X., Liu Y., Yu B. Analysis on fungal diversity in rhizosphere soil of continuous cropping potato subjected to different furrow-ridge mulching managements. *Frontiers in Microbiology*. 2017;(8):845. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00845>
15. Linz A. M., Crary B. C., Shade A., Owens S., Gilbert J. A., Knight R., McMahon K. D. Bacterial community composition and dynamics spanning five years in freshwater bog lakes. *ASM Journals. MSphere*. 2017;2(3):e00169. DOI: <https://doi.org/doi:10.1128/mSphere.00169-17>
16. McMurdie P. J., Holmes S. Phyloseq: An R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PLoS One*. 2013;8(4):e61217. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061217>
17. Shin J., Lee S., Go M. J., Lee S. Y., Kim S. C., Lee C. H., Cho B. K. Analysis of the mouse gut microbiome using full-length 16S rRNA amplicon sequencing. *Scientific Reports*. 2016;6:29681. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep29681>
18. Johnson J. S., Spakowicz D. J., Hong B. Y., Petersen L. M., Demkowicz P., Chen L., Leopold S. R., Hanson B. M., Agresta H. O., Gerstein M., Sodergren E., Weinstock G. M. Evaluation of 16S rRNA gene sequencing for species and strain-level microbiome analysis. *Nature Communications*. 2019;10(1):5029. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13036-1>
19. Penton C. R., Gupta V. V., Yu J., Tiedje J. M. Size matters: assessing optimum soil sample size for fungal and bacterial community structure analyses using high throughput sequencing of rRNA gene amplicons. *Frontiers in Microbiology*. 2016;7:824. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00824>
20. Morita H., Akao S. The effect of soil sample size, for practical DNA extraction, on soil microbial diversity in different taxonomic ranks. *PLoS One*. 2021;16(11):e0260121. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260121>
21. Větrovský T., Baldrian P. The variability of the 16S rRNA gene in bacterial genomes and its consequences for bacterial community analyses. *PLoS One*. 2013;8(2):e57923. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057923>
22. Louca S., Doebeli M., Parfrey L. W. Correcting for 16S rRNA gene copy numbers in microbiome surveys remains an unsolved problem. *Microbiome* 2018;6:41. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0420-9>
23. Klappenbach J. A., Saxman P. R., Cole J. R., Schmidt T. M. Rndb: the ribosomal RNA operon copy number database. *Nucleic Acids Research*. 2001;29(1):181-184. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/29.1.181>
24. Starke R., Pylro V. S., Morais D. K. 16S rRNA gene copy number normalization does not provide more reliable conclusions in metataxonomic surveys. *Microbial Ecology*. 2021;81:535-539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-020-01586-7>
25. Gao Y., Wu M. Accounting for 16S rRNA copy number prediction uncertainty and its implications in bacterial diversity analyses. *ISME Communications*. 2023;3(1):59. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43705-023-00266-0>
26. Charkowski A., Sharma K., Parker M. L., Secor G. A., Elphinstone J. Bacterial diseases of potato. In: Campos H., Ortiz O. (eds) *The Potato Crop*. Springer, Cham. 2020. pp. 351-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_10
27. Voronina O. L., Kunda M. S., Ryzhova N. N., Aksenova E. I., Semenov A. N., Lasareva A. V., Amelina E. L., Chuchalin A. G., Lunin V. G., Gintsburg A. L. The variability of the order *Burkholderiales* representatives in the healthcare units. *BioMed Research International*. 2015;2015:680210. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/680210>
28. Volpiano C. G., Sant'Anna F. H., Ambrosini A., de São José J. F. B., Beneduzi A., Whitman W. B., de Souza E. M., Lisboa B. B., Vargas L. K., Passaglia L. M. P. Genomic metrics applied to *Rhizobiales* (*Hyphomicrobiales*): species reclassification, identification of unauthentic genomes and false type strains. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:614957. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.614957>
29. Quaiser A., Ochsenreiter T., Lanz C., Schuster S. C., Treusch A. H., Eck J., Schleper C. *Acidobacteria* form a coherent but highly diverse group within the bacterial domain: evidence from environmental genomics. *Molecular Microbiology*. 2003;50(2):563-575. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2003.03707.x>
30. Tian B., Yang J., Zhang K. Q. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action, and future prospects. *FEMS Microbiology Ecology*. 2007;61(2):197-213. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00349.x>
31. Postma J., Schilder M. T., Bloem J., Van Leeuwen-Haagsma W. K. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008;40(9):2394-2406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.023>
32. Duran D., Rey L., Navarro A., Busquets A., Imperial J., Ruiz-Argüeso T. *Bradyrhizobiumvalentinum* sp. nov., isolated from effective nodules of *Lupinus mariae-josephae*, a lupine endemic of basic-lime soils in Eastern Spain. *Systematic and Applied Microbiology*. 2014;37(5):336-341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2014.05.002>
33. Helene L. C. F., Delamuta J. R. M., Ribeiro R. A., Hungria M. *Bradyrhizobiummercantei* sp. nov., a nitrogen-fixing symbiont isolated from nodules of *Degueliacostata* (syn. *Lonchocarpuscostatus*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2017;67(6):1827-1834. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001870>

34. Zhang H., Sekiguchi Y., Hanada S., Hugenholtz P., Kim H., Kamagata Y., Nakamura K. *Gemmatimonas aurantiaca* gen. nov., sp. nov., a gram-negative, aerobic, polyphosphate-accumulating micro-organism, the first cultured representative of the new bacterial phylum *Gemmatimonadetes* phyl. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2003;53(4):1155-1163. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijms.0.02520-0>
35. Ofek M., Hadar Y., Minz D. Ecology of root colonizing *Massilia* (*Oxalobacteraceae*). PLoS One. 2012;7(7):e40117. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040117>
36. Macchi M., Martinez M., NemeTaul R. M., Valacco M. P., Morelli I. S., Coppotell B. M. Insights into the genome and proteome of *Sphingomonas paucimobilis* strain 20006FA involved in the regulation of polycyclic aromatic hydrocarbon degradation. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2017;34(1):7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2391-6>
37. Li R., Dörfler U., Munch J. C., Schroll R. Enhanced degradation of isoproturon in an agricultural soil by a *Sphingomonas* sp. strain and a microbial consortium. Chemosphere. 2017;168:1169-1176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.084>
38. Mazoyon C., Hirel B., Pecourt A., Catterou M., Gutierrez L., Sarazin V., Dubois F., Duclercq J. *Sphingomonas diminicola* is an end osymbiotic bacterium able to induce the formation of root nodules in pea (*Pisum sativum* L.) And to enhance plant biomass production. Microorganisms. 2023;11(1):199. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010199>
39. Ahn J. H., Lee S. A., Kim J. M., Kim M. S., Song J., Weon H. Y. Dynamics of bacterial communities in rice field soils as affected by different long-term fertilization practices. Journal of Microbiology. 2016;54(11):724-731. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12275-016-6463-3>
40. Cordero J., de Freitas J. R., Germida J. J. Bacterial microbiome associated with the rhizosphere and root interior of crops in Saskatchewan, Canada. Canadian Journal of Microbiology. 2020;66(1):71-85. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjm-2019-0330>
41. Kim H., Park Y. H., Yang J. E., Kim H. S., Kim S. C., Oh E. J., Moon J., Cho W., Shin W., Yu C. Analysis of major bacteria and diversity of surface soil to discover biomarkers related to soil health. Toxics. 2022;10(3):117. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics10030117>

Сведения об авторах

Шанина Елена Петровна, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», д. 21, ул. Главная, г. Екатеринбург, Российская Федерация 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5818-3813>

✉ **Лиходеевский Георгий Александрович**, младший научный сотрудник, Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», д. 21, ул. Главная, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Information about the authors

Elena P. Shanina, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Ural Research Institute of Agriculture, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 21, Glavnaya St., Yekaterinburg Russian Federation, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5818-3813>

✉ **Georgiy A. Lihodeevskiy**, junior researcher, Ural Research Institute of Agriculture, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 21, Glavnaya St., Yekaterinburg, Russian Federation, 620061, e-mail: uralniishoz@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.999-1006>
УДК 582.232.192.2 (470.342)



Находки фармакологически ценного сумчатого гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в Кировской области

© 2023. А. А. Широких✉

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

Грибы рода *Cordyceps* Fr. (1818) (Ascomycota: Hypocreales: Cordycipitaceae) широко распространены по всему миру, многие виды являются космополитами. Известны кордицепсы как энтомопатогенные грибы, поражающие гусениц и куколки насекомых. Плодовые тела кордицепса китайского *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G. H. Sung, J. M. Sung, Huwel-Jones & Spatafora (синоним *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.) известны также своими фармакологическими эффектами и используются в традиционной медицине Китая для лечения широкого спектра заболеваний. Этот вид имеет ограниченное распространение, и, благодаря огромному спросу, его ресурсы из-за неконтролируемых сборов в дикой природе быстро истощаются. Кроме того, *O. sinensis* трудно поддается искусственному культивированию. Другой энтомопатогенный вид гриба, *Cordyceps militaris*, обладает химическим составом и свойствами, сходными с таковыми у *O. sinensis*, но, в отличие от *O. sinensis*, его легче искусственно выращивать в мицелиальной культуре. В связи с этим, изучение распространения и встречаемости вида *Cordyceps militaris* приобрело в настоящее время исключительную актуальность. В статье приведены данные о первых в Кировской области спорадических находках гриба *Cordyceps militaris*, обладающего уникальными биологическими свойствами. Обсуждается экологическая стратегия популяции данного вида, особенности его распространения и колебаний численности на территории России. Рассмотрен вопрос, почему при широком распространении данного вида его считают редким и даже включают в Красную книгу отдельных регионов. Найденный в северной части Кировской области *C. militaris* выделен в чистую культуру (штамм T1) для искусственного выращивания и изучения физиолого-биохимических свойств. Обоснована целесообразность включения природных изолятов кордицепса, полученных введением в мицелиальную культуру, в микологические коллекционные фонды, поскольку искусственное культивирование гриба представляет очевидный интерес для развития биотехнологий в медицине, ветеринарии, растениеводстве и защите растений.

Ключевые слова: кордицепс, аскомицеты, энтомопатогенные грибы, лекарственные свойства, встречаемость вида

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0005).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Широких А. А. Находки фармакологически ценного сумчатого гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):999-1006.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.999-1006>

Поступила: 11.08.2023

Принята к публикации: 02.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Records of pharmacologically valuable ascomycete fungus *Cordyceps militaris* (L.) Fr. in the Kirov region

© 2023. Alexander A. Shirokikh✉

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

Fungi of the genus *Cordyceps* Fr. (1818) (Ascomycota: Hypocreales: Cordycipitaceae) are widely distributed throughout the world, many species are cosmopolitan. *Cordyceps* are known as entomopathogenic fungi that infect caterpillars and pupae of insects. The fruit bodies of Chinese cordyceps *Ophiocordyceps sinensis* (synonym *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc) are also well known for their pharmacological effects and are widely used in traditional Chinese medicine for the treatment of a wide range of diseases. This species has a limited distribution and, due to the huge demand, its resources are rapidly depleted in the wild due to uncontrolled fees. In addition, *O. sinensis* is difficult to cultivate artificially. Another entomopathogenic species of fungus, *Cordyceps militaris*, has a chemical composition and properties similar to those of *O. sinensis*, but, unlike *O. sinensis*, it is easier to be grown artificially in mycelial culture. In this regard, the study of the distribution and occurrence of the fungus *Cordyceps militaris* has now acquired exceptional relevance. The article presents data on the first sporadic records of *Cordyceps militaris* fungus, which has unique biological properties, in the Kirov region. The ecological strategy of the population of this species, the peculiarities of its distribution and population fluctuations in Russia are discussed. The question is considered why, with the wide distribution of this species, it is considered rare and even included in the Red Books of individual regions. *C. militaris* found in the northern part of the Kirov region was isolated into pure culture (strain T1) for artificial cultivation and study of physiological and biochemical properties. The expediency of including natural cordyceps isolates obtained by introduction into mycelial culture in mycological collection funds is substantiated, since artificial cultivation of the fungus is of obvious interest for the development of biotechnologies in medicine, veterinary medicine, crop production and plant protection.

Keywords: cordyceps, ascomycetes, entomopathogenic fungi, medicinal properties, species occurrence

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

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: Shirokikh A. A. Records of pharmacologically valuable ascomycete fungus *Cordyceps militaris* (L.) Fr. in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023; 24(6):999-1006. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.999-1006>

Received: 11.08.2023

Accepted for publication: 02.11.2023

Published online: 20.12.2023

В настоящее время большой интерес вызывает метаболический потенциал высших грибов как основа для развития новых биотехнологий. Всё большую популярность приобретают ценные виды лекарственных грибов, традиционно используемые в народной медицине Китая и других стран Юго-Восточной Азии [1].

Среди грибов, применяемых в традиционной восточной медицине, особый интерес представляют аскомицеты рода *Cordyceps*, принадлежащие к классу Sordariomycetes, порядку Hypocreales, семейству Cordycipitaceae (<https://www.indexfungorum.org/>). Особенностью кордицепсов является их зоопаразитизм. Эти энтомопатогенные грибы поражают гусениц и куколок насекомых. Гусеницы бабочек зарываются в почву или подстилку, и в них начинается развитие мицелий гриба, использующий питательные вещества насекомого-хозяина и приводящий его к гибели. Личинка мумифицируется, а из гусеницы на следующее лето вырастает плодовое тело гриба. Как правило, оно прикреплено к голове зараженного насекомого.

Некоторые виды рода *Cordyceps* содержат вещества со свойствами, представляющими интерес для биотехнологии и фармакологии. Лекарственные свойства грибов рода *Cordyceps* обусловлены, в первую очередь, синтезом кордицепина и кордицепиновой кислоты, уникальным составом полисахаридов, способствующих активации клеток иммунной системы, в частности – увеличению синтеза цитокинов и интерферонов, а также антиоксидантными свойствами [2, 3]. Ряд выявленных и научно доказанных лечебных эффектов имеют плодовые тела кордицепса китайского *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora, 2007 (синоним *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.), который с успехом используется в традиционной медицине Китая для лечения широкого спектра заболеваний [1]. Этот ограниченно распространённый в высокогорьях Тибета и прилегающих районах Гималаев вид имеет огромный спрос, из-за чего интенсивно собирается населением, и его ресурсы быстро истощаются. Кроме того, *O. sinensis*

трудно поддается искусственному культивированию. Мицелий *O. sinensis*, выращенный на питательных средах, содержит значительно меньше ценных для фармакологии компонентов в отличие от плодового тела гриба, сформировавшегося на гусеницах насекомых-хозяев, которыми являются различные виды бабочек семейства тонкопрядов (Hepialidae). Другой энтомопатогенный вид гриба – *Cordyceps militaris* (L.) Fr., обладает химическим составом и свойствами, сходными с таковыми у *O. sinensis*, но в отличие от него легче поддается искусственному выращиванию, и его состав в меньшей степени зависит от условий культивирования [4], ввиду чего *Cordyceps militaris* заслуживает особо пристального внимания как объект биотехнологии.

До недавнего времени считалось, что кордицепсы являются редкими грибами, предпочитающими биотопы с повышенной влажностью и температурой, распространенными преимущественно в субтропических и тропических лесах Южной Америки, Азии, Африки. К началу нынешнего века было известно около 400 видов рода *Cordyceps*, но в настоящее время их количество сильно сократилось, так как данные молекулярно-генетических исследований показали, что значительная их часть является представителями близких семейств: Clavicipitaceae (*Metacordyceps* и др.) и Ophiocordycipitaceae (*Ophiocordyceps*, *Perennicordyceps*, *Pleurocordyceps* и мн. др. роды). Но в целом, действительно, наибольшее видовое разнообразие всех *Cordyceps*-подобных грибов, в большинстве являющихся эндопаразитами членистоногих, характерно для тропических дождевых лесов. На сегодня установлено, что многие виды этой группы распространены и в зоне умеренного климата, а в России есть уникальные места, например, реликтовые леса на юге Приморского края, где их встречается до 80 видов [5].

Наиболее широко распространенными видами рода *Cordyceps*, в современном объеме его понимания, являются известные лишь по бесполой (анаморфной) стадии развития *C. farinosa* и *C. fumosorosea*, а среди грибов, преиму-

шественно встречающихся в природе в половой стадии (телеоморфной) – *C. militaris*. Последний встречается в Европе, Северной и Южной Америке, Азии, Африке. В России этот гриб отмечен во всех природно-климатических зонах: от тундры до южных областей [6, 7, 8, 9, 10]. Плодовое тело и искусственно культивируемый мицелий *C. militaris* содержат биоактивные соединения – кордицепиновую кислоту и кордицепин, которые оказывают антибактериальное, противовирусное действие, ингибируют развитие многих видов опухолей, что обеспечивает широкую терапевтическую и профилактическую эффективность кордицепса в медицине и ветеринарии [11, 12, 13]. Экспериментально показана способность кордицепина влиять на физиологию растений, регулируя накопление лектинов в клетках пшеницы при солевом стрессе [14]. Известны фитотоксические свойства кордицепина, который был даже предложен как природный гербицид [15]. Активно изучается инсектицидное действие кордицепина и самого гриба как средства борьбы с колорадским жуком [16], капустной молью и другими вредными членистоногими [17].

Количественный и качественный состав метаболитов гриба может различаться в зависимости от генетически обусловленных особенностей штамма и влияния факторов внешней среды [18].

Цель работы – уточнить представления о встречаемости и распространении гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. на территории северо-востока европейской части России. При выявлении в природе выделить в мицелиальную культуру для последующего изучения пригодности местных штаммов к биотехнологическому использованию в сельском хозяйстве.

Новизна исследований – представлены первые документированные, с указанием географических координат, находки вида *C. militaris* на территории Кировской области, и впервые из природной среды получен местный штамм гриба *C. militaris* T1 для изучения его филогении и физиолого-биохимических свойств.

Материал и методы. Территория исследования. Исследование проводили в 2018-2023 гг. маршрутным методом на двух пространственно удаленных территориях, типизирующих природно-климатические условия северной и центральной зон Кировской области, но контрастных по степени антропогенного воздействия на биоту: 1) особо охраняемая природная территория (ООПТ) – участок «Тулашор» ФГБУ

«Государственный природный заповедник «Нургуш» (ГПЗ «Нургуш»); 2) микрорайон Талица, г. Киров. Время сбора – июль, август.

Участок «Тулашор» ГПЗ «Нургуш» расположен на северо-западе Нагорского района, на границе Кировской области с Республикой Коми. Это один из немногих сохранившихся массивов старовозрастных лесов в Европе, представленный спелыми и перестойными ельниками и смешанными лесами, находящимися на разных стадиях возрастной динамики. «Тулашор» – один из мало нарушенных лесных территорий европейского севера России, практически не затронутая хозяйственной деятельностью (<https://nurgush.org/>).

Микрорайон Талица расположен в заречной части г. Кирова, на правом берегу р. Вятки и представляет собой низинный закоряженный участок елово-берёзового леса с лежащими на земле полусгнившими стволами деревьев и моховой подстилкой. Местонахождение гриба находилось в 60 м от железнодорожной ветки местного значения Киров-Слободской.

Выделение и культивирование гриба. Выделение сумчатого гриба *C. militaris* в чистую культуру осуществляли на солодовом агаре (4 °Б) по методу Фриза (из аскоспоры) с использованием плодового тела гриба, собранного на территории участка «Тулашор» ГПЗ «Нургуш» в августе 2020 года [19]. Идентификацию гриба проводили до выделения в мицелиальную культуру по морфологическим признакам с использованием микроскопа Leica DM 2500, в соответствии с определителем [20]. Чашки Петри инкубировали при 24 °С в темноте. Учёт проводили на 7-10 сутки культивирования. Моноспоровые изоляты сохраняли в стеклянных пробирках на косом сусли-агаре при +4 °С.

Результаты и их обсуждение. Обычно *C. militaris* обнаруживается в лесной подстилке на куколках и гусеницах чешуекрылых из различных семейств, преимущественно бражников (*Sphingidae*) и близких к ним групп [7]. На куколках бабочек гриб образует булавовидные оранжево-красные плодовые тела – стромы, одиночные или по несколько штук (рис., а, б). Размеры, форма стром и интенсивность окраски очень изменчивы и зависят от размеров пораженного насекомого и условий местообитания [18]. Спорообразующая часть стромы цилиндрическая, булавовидная, веретеновидная, бородавчатая от выступающих устьев перитециев. Ножка цилиндрическая, бледно-оранжевая или почти белая.



Рис. *Cordyceps militaris*: а – одиночная строма (Тулашор, 2018); б – множественные стромы на насекомом-хозяине (Тулашор, 2020); в – плодовое тело на спиле бревна осины; г – мицелиальная культура (штамм *C. militaris* T1) на сусло-агаре с зачатками плодовых тел; д – формирование плодового тела (телеоморфы) в колбе на сусло-агаре; е – плодовые тела, обнаруженные в городской черте г. Кирова (микрорайон Талица, 2023); ж – плодовые тела на куколке бабочки из семейства бражников (*Sphingidae*)

Fig. *Cordyceps militaris*: а – single stroma (Tulashor, 2018); б – multiple stromas on the host insect (Tulashor, 2020); в – fruit body on the sawn aspen log; г – mycelial culture (strain *C. militaris* T1) on wort-agar with germs of fruit bodies; д – the formation of a fruit body (teleomorphs) in a flask on wort-agar; е – fruit bodies found in the city limits of Kirov (Talitsa microdistrict, 2023); г – fruit bodies on the pupa of a butterfly from the hawk moth family (*Sphingidae*)

В Кировской области *C. militaris* впервые был нами найден на территории ГПЗ «Нургуш», участок «Тулашор» в 2018 году [19]. Гриб обнаружен на куколке бабочки в моховой подстилке сырого лога (N59.65902, E50.01778).

Найденный экземпляр представлен одиночной ярко-оранжевой стромой (рис., а). В 2020 году, недалеко от места первой находки (N59.38721, E50.03342), обнаружен второй экземпляр со множественными ярко-оранжевыми стромами,

растущими на мёртвой куколке бабочки (рис., б). Второй экземпляр кордицепса был доставлен в лабораторию биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, где из плодового тела на сусло-агаре получили мицелиальную культуру кордицепса. Мицелиальная колония на плотной питательной среде ватоподобная, не плотная, от белого до кремового цвета. Край колонии ровный, высоко приподнятый над субстратом. Образование жёлто-оранжевого пигмента отмечено только при культивировании *C. militaris* на свету. В анаморфной культуре наблюдали образование множественных примордиев (рис., г). Микроскопия вегетативного мицелия позволила наблюдать септированные гифы с гладкими стенками и единичными хламидоспорами. Отмечено было также множество округлых конидий от 5 до 7 мкм в диаметре. Характер конидиогенных структур выявить не удалось.

На 25 сутки культивирования на сусло-агаре при естественном освещении и температуре 23 ± 2 °C на мицелии гриба сформировалась строма с сумками (асками), содержащими аскоспоры (рис., д). Следует отметить, что получить *in vitro* строму *C. militaris* удастся далеко не всегда. При микроскопии аски имели цилиндрическую форму, были септированными, размером $300\text{--}500 \times 3.0\text{--}3.5$ мкм, и содержали 8 спор каждая. По мере созревания распадалась на отдельные клетки – споры, имеющие размеры $4.5\text{--}5(7) \times 1\text{--}1.5$ мкм. Аскоспоры бесцветные, нитевидные, часто с многочисленными перегородками, почти равные по длине сумкам.

После предварительной идентификации и присвоения акронима штамм *C. militaris* T1 помещен для хранения и изучения свойств в коллекцию культур высших грибов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

В 2020 году в Галанином логу (N59.39505, E50.05232) на территории участка «Тулашор» на спиле полусгнившего ствола осины был обнаружен третий экземпляр *C. militaris* (рис., в). Образование стромы гриба на полусгнившем стволе дерева можно объяснить тем, что данный вид достаточно часто встречается на куколках мелких чешуекрылых, зимующих в гниющей древесине и под корой в нижней части ствола.

В июле 2023 года еще один экземпляр *C. militaris* найден в лесном массиве микрорайона Талица (N58.61381, E49.77960), расположенном в черте города Кирова. Стромы гриба развились из куколки бражника, находящейся в моховой подстилке (рис., е и ж). Биотоп обитания гриба

представлял собой низинный участок елово-берёзового леса с полусгнившими стволами деревьев и моховой подстилкой, состоящей из сфагнома (*Sphagnum palustre*), кукушкиного льна (*Polytrichum commune*) и плевроциума Шребера (*Pleurozium schreberi*).

Отсутствие до 2018 года информации о нахождении *C. militaris* на территории Кировской области объясняется как особенностями биологии данного вида гриба, так и тем, что в ходе региональных маршрутных микологических обследований [21] не проводился его направленный поиск. Как отмечает Б. А. Борисов (2012), для данного вида характерно естественное состояние малочисленности и микроочаговости [22]. Например, для некоторых территорий Приморского края (Лазовский государственный природный заповедник им. Л. Г. Капланова, Государственный природный биосферный заповедник «Кедровая Падь» и др.) кордицепс является типичным обитателем хвойно-широколиственных лесов. В других местах с аналогичными и даже более благоприятными условиями обитания он может встречаться локально, в пространственно удалённых друг от друга точках. Если не знать координаты этих точек, а тем более – не искать это вид специально, то вероятность его обнаружения на исследуемой территории весьма незначительна. Такая стратегия выживания создаёт ложное представление о «редкости» гриба *C. militaris*, а поскольку редкость вида в природе рассматривают как свидетельство его потенциального исчезновения, связанного с повышенной уязвимостью, то это предполагает включение вида в охранные списки [23]. Однако следует учесть, что за периодами исключительной редкости вида *C. militaris* могут следовать сильные всплески его численности в пределах одной и той же территории. Например, из-за такой особенности распространения *C. militaris* был внесён в Красную книгу Республики Бурятия с пометкой: «Численность очень мала, тенденции её изменения не выяснены, лимитирующие факторы не установлены» [24, с. 321]. А спустя несколько лет, при изучении микозов насекомых, на склоне хребта Хамар-Дабан в южном Прибайкалье был зафиксирован всплеск численности *C. militaris* – до 5000 экземпляров на 1 га [7]. Из литературы известно, что подобная стратегия существования популяции присуща многим видам зоопаразитических грибов: когда широко распространенный вид с низкой численностью характеризуется взрывным ее увели-

чением в отдельные годы с благоприятными условиями для развития и размножения насекомых-хозяев [22]. Эти микологические наблюдения в природе в очередной раз указывают на универсальность и широкую применимость концепции природной очаговости инфекций академика Е. Н. Павловского [25].

Заключение. Таким образом, единичные находки *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в лесных биотопах Кировской области – на территории участка «Тулашор» Государственного природного заповедника «Нургуш» (август 2018 и 2020 гг.) и в городской черте (мкр-н Талица) г. Кирова (июль 2023 г.) служат подтверждением «космополитизма» данного вида гриба, его широкого распространения и, вместе с тем, его малочисленности. Несмотря на единичность находок на территории Кировской области, *C. militaris* не подлежит включению в региональные охранные списки в связи со сложностью изучения его популяционной динамики и отношения к той или иной охранной категории. Вопрос об организации охраны этого вида пока остается открытым. Возможно, путем оценки экологических ниш и диапазона распространения *C. militaris* с использованием методов

метабаркодинга (молекулярных методов анализа ДНК, выделенной из природных субстратов), которые уверенно входят в практику современных микологических исследований [26, 27], удастся решить вопрос, относится ли данный вид к «редким» и/или «исчезающим», или же, напротив, его природным популяциям в области ничто не угрожает.

Оптимизм внушает то, что в Кировской области обнаружены собственные ресурсы фармакологически ценного гриба, требующие углубленной оценки. Как и у других лекарственных грибов, при выделении *C. militaris* из природной среды в мицелиальную культуру с последующим ее искусственным выращиванием на питательной среде, отдельные изоляты, по-видимому, могут сильно различаться по биохимическим и иным свойствам, продукции ценных метаболитов. Это делает целесообразным не только поиск и выделение местных штаммов кордицепса, но и включение вятских штаммов гриба в международные коллекции микологических культур, в силу большого интереса к кордицепсу как продуценту ценных для биотехнологии метаболитов.

Список литературы

1. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях. Под ред. В. А. Сысуева. Киров: изд-во «О-Краткое», 2009. 319 с.
2. Dreyfuss M. M., Chapela I. H. Potential of fungi in the discovery of novel, low-molecular weight pharmaceuticals. Discovery of natural products with therapeutic potential. Butterworth-Heinemann Press, Stoneham Mass, 1994. 616 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-9003-4.50009-5>
3. Halpern G. M. The legend of *Cordyceps sinensis*. *Cordyceps*: east and west. In: Healing mushrooms: ancient wisdom for better health. New York: Garden City Park, 2007. Part 7. pp. 70-71.
4. Wang B. S., Lee C. P., Chen Z. T., Yu H. M., Duh P. D. Comparison of the hepatoprotective activity between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis*. Journal of Functional Foods. 2012;4(2):489-495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.009>
5. Борисов Б. А., Лиховидов В. Е., Володина Л. И., Жирков В. М., Леднев Г. Р., Глухов В. В. Грибы рода *Cordyceps* как объекты медицинской биотехнологии, их ресурсы в России и проблемы сохранения ex situ. Успехи медицинской микологии. 2006;7:272-275.
6. Иконникова Н. В., Лобай М. В. Биологические свойства и иммуностропные эффекты грибов рода *Cordyceps*. Журнал белорусского государственного университета. Экология. 2019;(2):68-76. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41261393> EDN: OSMPZR
7. Kryukov V. Y., Yaroslavl'tseva O. N., Lednev G. R., Boriso B. A. Local epizootics caused by teleomorphic cordycipitoid fungi (*Ascomycota: Hypocreales*) in populations of forest lepidopterans and sawflies of the summer-autumn complex in Siberia. Microbiology. 2011;80(2):286-295. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026261711020093>
8. Борисов Б. А., Александрова А. В. Зоопаразитические кордицепитоидные грибы Московской области. Современная микология России. ТЗ. Мат-лы 3 съезда микологов России. М.: Национальная Академия микологии, 2012. С. 105-106. Режим доступа: <http://www.mycology.ru/files/cmr2012.pdf>
9. Прохоров В. П., Борисов Б. А., Воронина Е. Ю., Александрова А. В. Новые данные о сордариомицетах и дотидеомицетах государственного природного заказника «Звенигородская биостанция МГУ и карьер Сима». Микология и фитопатология. 2015;49(6):359-365. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24842708> EDN: UXQLRR
10. Борисов Б. А. Зоопаразитические кордицепитоидные грибы (*Ascomycota: Hypocreales*) Сочинского национального парка и прилегающих территорий. Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов северной Евразии: мат-лы Всеросс. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. С. 31-35. Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40315>
11. Tan L., Song X., Ren Y., Wang M., Guo C., Guo D., Gu Yu., Li Yu., Cao Zh., Deng Y. Anti-inflammatory effects of cordycepin: A review. Phytotherapy Research. 2021;35(3):1284-1297. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6890>

12. Radhi M., Ashraf S., Lawrence S., Tranholm A. A., Wellham P. A. D., Hafeez A., Khamis A. S., Thomas R., McWilliams D., De Moor C. H. A systematic review of the biological effects of cordycepin. *Molecules*. 2021;26(19):5886. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26195886>
13. Yoon S. Y., Park S. J., Park Y. J. The anticancer properties of cordycepin and their underlying mechanisms. *International journal of molecular sciences*. 2018;19(10):3027. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19103027>
14. Шакирова Р. М., Безрукова М. В., Авальбаев А. М., Фатхутдинова Р. А. Механизмы регуляции накопления лектина в проростках пшеницы при засолении. *Физиология растений*. 2003;50(3):341-345.
15. Quy T. N., Xuan T. D., Andriana Y., Tran H.-D., Khanh T. D., Teschke R. Cordycepin isolated from *Cordyceps militaris*: its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molecules*. 2019;24(16):2901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24162901>
16. Крюков В. Ю., Ярославцева О. Н., Дубовский И. М., Тюрин М. В., Крюкова Н. А., Глухов В. В. Инсектицидное и иммуносупрессивное действие аскомицета *Cordyceps militaris* на личинок колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata*. *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2014;(3):296-303. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002332914020040> EDN: SARZQX
17. Берестейский А. О., Леднев Г. Р., Ху Ц. Перспективные подходы к поиску метаболитов грибов для борьбы с вредными членистоногими. *Вестник защиты растений*. 2021;104(1):6-27. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14963> EDN: NDPNVD
18. Пучкова Т. А., Бабицкая В. Г., Щерба В. В., Пармон С. В., Навоша Ю. Ю. Влияние факторов среды на образование полисахаридов гриба *Cordyceps militaris*. *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2010;(3):83-86. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42539223> EDN: DIXZYM
19. Широких А. А., Широких И. Г. К вопросу об охране грибов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(5):641-660. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.641-660> EDN: BQWZRA
20. Hansen L., Knudsen H. *Nordic macromycetes*. Vol. 1. *Ascomycetes*. Copenhagen: Nordsvamp c/o Botanical Museum, 2020. 285 p.
21. Ставищенко И. В., Лугинина Е. А., Кирилов Д. В., Егошина Т. Л. Макромицеты Государственного природного заказника «Былина». Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2019. 150 с.
22. Борисов Б. А. Возбудители микозов беспозвоночных заповедника «Калужские засеки»: результаты исследований на южном участке и прилегающих территориях. *Труды государственного природного заповедника «Калужские засеки»*. Вып. 2. Под общ. ред. С. К. Алексеева. Калуга: изд-во «Эйдос», 2012. С. 29-73.
23. Арефьев С. П. О системном подходе к охране редких видов грибов. *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2008;(8):3-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11730088> EDN: JWRYAN
24. Петров А. Н. Кордицепс военный – *Cordyceps militaris* (Fr.) Link. Красная книга республики Бурятия. *Редкие и исчезающие виды растений и грибов*. Под ред. Т. Г. Бойкова. Новосибирск: Наука, 2002. С. 321.
25. Павловский Е. Н. Основы учения о природной очаговости трансмиссивных болезней человека. *Журнал общей биологии*. 1946;7(1):3-33.
26. Blackwell M., Vega F. E. Lives within lives: Hidden fungal biodiversity and the importance of conservation. *Fungal Ecology*. 2018;35:127-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.011>
27. Новожилов Ю. К., Малышева В. Ф., Малышева Е. Ф., Щепин О. Н., Азаров Д. В., Змитрович И. В., Волобуев С. В., Коваленко А. Е. Скрытое разнообразие грибов и грибообразных протистов в природных экосистемах: проблемы и перспективы. *Биосфера*. 2016;8(2):202-215. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26620021> EDN: WKNRHP

References

1. Medicinal mushrooms in traditional Chinese medicine and modern biotechnology. Ed. V. A. Sysuev. Kirov: izd-vo «O-Kratkoe», 2009. 319 p.
2. Dreyfuss M. M., Chapela I. H. Potential of fungi in the discovery of novel, low-molecular weight pharmaceuticals. *Discovery of natural products with therapeutic potential*. Butterworth-Heinemann Press, Stoneham Mass, 1994. 616 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-9003-4.50009-5>
3. Halpern G. M. The legend of *Cordyceps sinensis*. *Cordyceps: east and west*. In: *Healing mushrooms: ancient wisdom for better health*. New York: Garden City Park, 2007. Part 7. pp. 70-71.
4. Wang B. S., Lee C. P., Chen Z. T., Yu H. M., Duh P. D. Comparison of the hepatoprotective activity between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis*. *Journal of Functional Foods*. 2012;4(2):489-495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.009>
5. Borisov B. A., Likhovidov V. E., Volodina L. I., Zhirkov V. M., Lednev G. R., Glupov V. V. Fungi of the genus *Cordyceps* as objects of medical biotechnology, their resources in Russia and problems of ex situ conservation. *Uspekhi meditsinskoy mikologii*. 2006;7:272-275. (In Russ.).
6. Ikonnikova N. V., Lobay M. V. Biological properties and immunotropic effects of the genus *Cordyceps* fungi. *Zhurnal belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* = *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;(2):68-76. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41261393>
7. Kryukov V. Y., Yaroslavl'tseva O. N., Lednev G. R., Borisov B. A. Local epizootics caused by teleomorphic cordycipitoid fungi (*Ascomycota: Hypocreales*) in populations of forest lepidopterans and sawflies of the summer-autumn complex in Siberia. *Microbiology*. 2011;80(2):286-295. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026261711020093>
8. Borisov B. A., Aleksandrova A. V. Zooparasitic cordycipitoid fungi of the Moscow region. *Modern Mycology of Russia*. Vol. 3. 3rd congress of mycologists of Russia. Moscow: *Natsional'naya Akademiya mikologii*, 2012. pp. 105-106. URL: <http://www.mycology.ru/files/cmr2012.pdf>

9. Prokhorov V. P., Borisov B. A., Voronina E. Yu., Aleksandrova A. V. New data on sordariomycetes and dothideomycetes at the territory of Moscow state university zvenigorod biological station and Sima open pit wildlife refuge. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2015;49(6):359-365. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24842708>
10. Borisov B. A. Zooparasitic cordycipitoid fungi (*Ascomycota*, *Hypocreales*) of Sochi national park and adjacent areas. Biodiversity and ecology of fungi and fungus-like organisms of northern Eurasia: Proceedings of the All-Russian conference with International participation. Ekaterinburg: *Izd-vo Ural'skogo universiteta*, 2015. pp. 31-35. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40315>
11. Tan L., Song X., Ren Y., Wang M., Guo C., Guo D., Gu Yu., Li Yu., Cao Zh., Deng Y. Anti-inflammatory effects of cordycepin: A review. *Phytotherapy Research*. 2021;35(3):1284-1297. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6890>
12. Radhi M., Ashraf S., Lawrence S., Tranholm A. A., Wellham P. A. D., Hafeez A., Khamis A. S., Thomas R., McWilliams D., De Moor C. H. A systematic review of the biological effects of cordycepin. *Molecules*. 2021;26(19):5886. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26195886>
13. Yoon S. Y., Park S. J., Park Y. J. The anticancer properties of cordycepin and their underlying mechanisms. *International journal of molecular sciences*. 2018;19(10):3027. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19103027>
14. Shakirova R. M., Bezrukova M. V., Aval'baev A. M., Fatkhutdinova R. A. Control mechanisms of lectin accumulation in wheat seedlings under salinity. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2003;50(3):341-345. (In Russ.).
15. Quy T. N., Xuan T. D., Andriana Y., Tran H.-D., Khanh T. D., Teschke R. Cordycepin isolated from *Cordyceps militaris*: its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molecules*. 2019;24(16):2901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24162901>
16. Kryukov V. Yu., Yaroslavl'tseva O. N., Dubovskiy I. M., Tyurin M. V., Kryukova N. A., Glupov V. V. Insecticidal and immunosuppressive effect of ascomycete *Cordyceps militaris* on the larvae of the colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. 2014;(3):296-303. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002332914020040>
17. Berestetskiy A. O., Lednev G. R., Khu Ts. Promising approaches to the search for fungal metabolites for management of arthropod pests. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2021;104(1):6-27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14963>
18. Puchkova T. A., Babitskaya V. G., Shcherba V. V., Parmon C. V., Navosha Yu. Yu. Influence of environment factors on formation of *Cordyceps militaris* fungus polysaccharides. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seriya biyolagichnykh navuk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series. 2010;(3):83-86. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42539223>
19. Shirokikh A. A., Shirokikh I. G. On the conservation of fungi. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):641-660. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.641-660>
20. Hansen L., Knudsen H. *Nordic macromycetes*. Vol. 1. *Ascomycetes*. Copenhagen: Nordsvamp c/o Botanical Museum, 2020. 285 p.
21. Stavishenko I. V., Luginina E. A., Kirolov D. V., Egoshina T. L. Macromycetes of the Bylina State Nature Reserve. Kirov: *OOO «Izdatel'stvo «Raduga-PRESS»*, 2019. 150 p.
22. Borisov B. A. Causative agents of mycosis invertebrates of the reserve «Kaluzhskiy zaseki»: results of research in the southern section and adjacent territories. Proceedings of the state natural reserve «Kaluzhskiy zaseki». Iss. 2. Pod obshch. red. S. K. Alekseeva. Kaluga: *izd-vo «Eydos»*, 2012. pp. 29-73.
23. Arefyev S. P. On system approach to protection of rare plants. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 2008;(8):3-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11730088>
24. Petrov A. N. Cordyceps military – *Cordyceps militaris* (Fr.) Link. Red Book of the Republic of Buryatia. Rare and endangered species of plants and fungi. *Pod red. T. G. Boykova*. Novosibirsk: *Nauka*, 2002. pp. 321.
25. Pavlovskiy E. N. Fundamentals of the doctrine of the natural foci of transmissible human diseases. *Zhurnal obshchey biologii*. 1946;7(1):3-33. (In Russ.).
26. Blackwell M., Vega F. E. Lives within lives: Hidden fungal biodiversity and the importance of conservation. *Fungal Ecology*. 2018;35:127-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.011>
27. Novozhilov Yu. K., Malysheva V. F., Malysheva E. F., Shchepin O. N., Azarov D. V., Zmitrovich I. V., Volobuev S. V., Kovalenko A. E. Hidden diversity of fungi and fungus-like protists in natural ecosystems: problems and prospects. *Biosfera*. 2016;8(2):202-215. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26620021>

Сведения об авторе

✉ Широких Александр Анатольевич, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории 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/0000-0002-7808-0376>

Information about the author

✉ Alexander A. Shirokikh, DSc in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7808-0376>

✉ – Для контактов / Corresponding author

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

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1007-1020>

УДК 664.38



Комплексная биоконверсия вторичных продуктов переработки гороховой муки в кормовые дрожжи

© 2023. В. В. Колпакова¹✉, Р. В. Уланова², Д. С. Куликов¹, В. А. Гулакова¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Люберцы, Московская обл., Российская Федерация,

²Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского, ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация

*Цель исследований – разработка комплексной биоконверсии вторичных продуктов переработки (ВПП) гороховой муки: жидкой сыворотки и нерастворимого крахмалобелкового остатка (НКБО), образующихся при выделении пищевого белкового концентрата (БК), с использованием различных ферментных препаратов. Исследования проведены в 2021-2023 гг. Биоконверсия сыворотки и НКБО в кормовые дрожжи (КД) выполнена с ассоциацией культур *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977 (1:1). Создана математическая модель зависимости роста биомассы на сыворотке от технологических факторов, определены оптимальные параметры: pH, температура, количество посевного материала. В процессе синтеза биомассы из сыворотки микроорганизмы усваивали глюкозу, ксилозу, галактозу, фруктозу. Установлены параметры гидролиза НКБО и условия его совместной биоконверсии с сывороткой с теми же микроорганизмами: количество остатка, добавляемого к массе сыворотки, pH, температура, продолжительность процесса, давление. С гидролизированным при pH 1,8 НКБО количество белка в биомассе повышалось в 2,2 раза, восстанавливающих сахаров – в 6,1 раза по сравнению с исходной сывороткой. При этом усваивались глюкоза и мальтоза. Сухие КД содержали 51,09-61,68 % белка, 2-8 % липидов, золы 5-8 % на сухое вещество. Аминокислотный скор белков равнялся 90-247 %, соотношение насыщенных (23,5 %) и ненасыщенных жирных кислот (71,67 %) – 1:3, омега-6 жирные кислоты – 19,73 %, транс-изомеры – 5,0 %. Дрожжи богаты натрием, калием, кальцием, магнием, цинком. Массовая доля нуклеиновых кислот и тяжелых металлов в КД находилась в пределах нормы, перевариваемость *in vitro* составила 85,73-89,74 %. Данные указывали на целесообразность утилизации ВПП гороховой муки комплексной биоконверсией в КД высокого качества.*

Ключевые слова: вторичные продукты переработки, сыворотка, нерастворимый крахмалобелковый остаток

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (тема № FGGM-2022-0006).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Колпакова В. В., Уланова Р. В., Куликов Д. С., Гулакова В. А. Комплексная биоконверсия вторичных продуктов переработки гороховой муки в кормовые дрожжи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1007-1020. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1007-1020>

Поступила: 26.05.2023

Принята к публикации: 13.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Complex bioconversion of secondary products of processing pea flour into fodder yeast

© 2023. Valentina V. Kolpakova^{1✉}, Ruzaliya V. Ulanova², Denis S. Kulikov¹, Valentina A. Gulakova¹

¹All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation,

²S. N. Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

*The purpose of the research is to develop a comprehensive bioconversion of secondary processing products (SPP) of pea flour: liquid whey and insoluble starch-protein residue (ISPR), formed during the isolation of food protein concentrate (PC) using various enzyme preparations. The research was carried out in 2021-2023. The bioconversion of whey and ISPR into fodder yeast (FY) was performed with the association of cultures of *S. cerevisiae* 121 and *G. candidum* 977 (1:1). There was created a mathematical model of the dependence of biomass growth on whey on technological factors, and the optimal parameters were determined: pH, temperature, amount of inoculum. In the process of biomass synthesis microorganisms absorbed glucose, xylose, galactose, fructose from whey. The parameters of ISPR hydrolysis and the conditions for its joint bioconversion with whey with the same microorganisms were established: the amount of residue added to the mass of whey, pH, temperature, process duration, pressure. With insoluble starch-protein residue hydrolyzed at pH 1.8, the amount of protein in the biomass increased by 2.2 times, reducing sugars – by 6.1 times, compared with the original whey. At the same time, glucose and maltose were absorbed. Dry FYs contained 51.09-61.68 % protein, 2-8 % lipids, and ash content 5-8 % per dry matter. The amino acid score of proteins was 90-247 %, the ratio of saturated (23.5 %) and unsaturated fatty acids (71.67 %) – 1:3, omega-6 fatty acids – 19.73 %, trans-isomers – 5.0 %. Yeast is rich in sodium, potassium, calcium, magnesium, zinc. The mass fraction of nucleic acids and heavy metals in FYs were within the normal range, in vitro digestibility was 85.73-89.74 %. The data indicated the expediency of utilization of pea flour secondary processing products into high-quality FY by comprehensive bioconversion.*

Keywords: secondary processing products, whey, insoluble starch-protein residue

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Russian Potato Research Centre (theme No. FGGM-2022-0006).

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

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

For citations: Kolpakova V. V., Ulanova R. V., Kulikov D. S., Gulakova V. A. Complex bioconversion of secondary products of processing pea flour into fodder yeast. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):1007-1020. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1007-1020>

Received: 26.05.2023

Accepted for publication: 13.11.2023

Published online: 20.12.2023

Несмотря на активное развитие рынка кормовых продуктов, агропромышленный комплекс испытывает нехватку в качественных кормовых добавках, содержащих белки, аминокислоты, углеводы, минеральные вещества. Часть из них, как правило, имеет высокую стоимость, для снижения которой целесообразно использовать безопасные и полноценные по химическому составу субстраты из вторичных продуктов переработки (ВПП) растительного сырья ферментацией их микроорганизмами [1, 2, 3]. Биомасса микроорганизмов предназначена, преимущественно, для повышения продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы. Традиционные способы получения кормовой биомассы, основанные на использовании сред из гидролизатов некоторых растений, углеводов нефти и низших спиртов имеют ряд недостатков. Среды требуют тщательной очистки от лигногуминовых примесей, фурфурола, оксиметилфурфурола и других соединений, тормозящих рост микроорганизмов. При получении биомассы из углеводов

особенно важны очистка субстрата от парафинов нефти и снижение расхода воды (например, для охлаждения теплообменных устройств). Более безопасными являются ВПП растительного сырья пищевой промышленности и сельского хозяйства: замочные воды зерновых, бобовых культур, мезга, жмыхы, шроты, фруктовые, овощные отходы и т. д. Они сбрасываются в канализацию и загрязняют окружающую среду, так как богаты органическими и минеральными соединениями. ВПП могут служить питательной средой для трансформации их микроорганизмами в обогащенную элементами микробную биомассу. Биоконверсия ВПП является альтернативным путем для традиционных способов получения пищевого и кормового белка [4].

Установлено, например, что депротеинизированные сточные воды от переработки картофеля, обогащенные глицерином, могут использоваться в качестве источника углерода при производстве биомассы кормовых дрожжей *Candida utilis* в течение 48 ч. с содержанием белка 36,7 г/100 г и выходом 18,51 г/л [5]. При глубин-

ном культивировании дрожжей *Rhodotorula gracilis* также на сточных водах, остающихся от термокислотной коагуляции белков картофельного сока, за 72 часа выход биомассы составил 28,65 г/дм³, содержание липидов – 25,57 г/100 см³ [6]. Кормовой белок высокого качества получили ферментацией подсырной сыворотки с культурами *Kluyveromyces marxianus* и *Candida krusei* с выходом биомассы 6,6 г/л и дрожжами *Kluyveromyces fragilis* с выходом клеток 37 г/л за 12 ч культивирования [7].

Отходы, образующиеся при переработке томатов, лимонов, моркови, фенхеля, также используют для получения дешевой микробной биомассы термофильных и галофильных микроорганизмов. Отходы цитрусовых являются очень привлекательными источниками для культивирования микробных сообществ. При производстве апельсинового сока, например, высвобождается 8-20 млн тонн твердых и жидких отходов, на основе которых получали микробиологическую продукцию с высокой добавленной стоимостью. Апельсиновая корка служила хорошим субстратом для культивирования дрожжей *C. utilis* при накоплении биомассы 15,71 г/л и содержании белка в ней 6,22 % [8, 9]. На яблочных выжимках отмечен рост биомассы *Pleurotus sapidus* с содержанием 21 % белка, 4 % липидов, 74 % углеводов, линолевой, глутаминовой кислот [10] и 115 мкг/г витамина D₂, последний синтезировался при УФ-облучении. Биомассу с массовой долей белка 19,8-36,0 % получали с культурами *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger* и *A. oryzae* трансформацией сточных вод, образующихся при производстве вина, и отходов ликероводочных заводов с *A. niger* при полной утилизации моносахаридов с выходом 35 г/дм³ [11].

На отходах производства пальмового масла синтезировали кормовую биомассу с *Aspergillus terreus* при урожайности 1,68 г/дм³ и 15 % посевного материала [12]. Кормовые добавки из спиртовой барды с пшеничными отрубями получены выращиванием дрожжей *Saccharomyces diastaticus* и *Rhodospiridium species* с содержанием белка до 59 % и незаменимых аминокислот до 41 % [13]. Биоконверсия сточных вод, образующихся из тапиоки после удаления крахмала, тоже обеспечивала получение продуктов с массовой долей белка 68,0-69,56 % белка и 11 % липидов с культурами *Spizulina platensis* и *Streptomyces tritici* [14]. Выполнена биологическая переработка сыворотки, образующейся после удаления казеина,

для получения продукции пищевой и фармацевтической промышленности [15, 16].

Для рационов сельскохозяйственных животных и птиц на отходах помола зерна сорго, риса, производства сахара с монокультурами *Trichoderma longibrachiatum*, *A. terreus* и ассоциацией культур *Aspergillus species* и *T. viride* произведена кормовая биомасса с массовой долей белка 19,0-43,7 % [17, 18]. Из отходов производства кукурузы и на сахарной мелассе ферментацией культур *Arachniotus species* и *C. utilis* также получена белковая биомасса, содержащая все незаменимые аминокислоты [19].

Разработана технология белкового концентрата (БК) культивированием дрожжей *K. marxianus* на ферментоллизате лузги подсолнечника с выходом до 30 г/л, содержанием белка 59,29±2,96 % и нуклеиновых кислот – не более 2 % [20]. На основе побочного продукта экстракции горохового белка с грибами *A. oryzae*, *Fusarium venenatum*, *Micrelenchus purpureus*, *Neurospora intermedia*, *Rhizopus oryzae* синтезирован пищевой компонент для замены мяса [21]. Штаммы грибов ферментировали при 35±2 °С в течение 48 ч до 43,13-59,74 % содержания белка в биомассе. Биоконверсия ВПП зерна тритикале на крахмал выполнена с дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* [3] и грибом *Pleurotus* [22], а зерна гороха и нута – сообществом микромицета рода *Geotrichum* и дрожжей *S. cerevisiae* [23]. Для кормовой добавки среда, например, готовилась с сывороточными водами, освобождающимися после извлечения крахмала и белка из зерновых культур. В сыворотку вносили ВПП, образующиеся после извлечения белка и крахмала А из зерна тритикале. Среда засеивалась микроорганизмами, ферментировали, суспензию термически обрабатывали и высушивали. Культивирование *Umbelopsis isabellina* на субстратах, составленных из отходов бобовых и злаковых, обеспечило получение биопродуктов с повышенным содержанием различных полиненасыщенных жирных кислот и каротиноидных пигментов [24]. Очевидно, что биоконверсия ВПП зерновых и зернобобовых культур на белковые продукты и крахмал, основанная на ферментации микроорганизмами, является эффективным способом восполнения полноценных кормовых ресурсов для животных с целью увеличения мясной и молочной продукции и снижения нежелательной нагрузки на биосферу [25, 26]. После извлечения микробной биомассы, как правило, образуется культуральная жидкость с

органическими и минеральными веществами, которая сливается в канализацию/водоемы и загрязняет окружающую среду. При этом не всегда используют и твердые отходы сырья. Имеются только единичные работы и более ранние труды по комплексной утилизации ВПП зерна гороха на БК, но без ферментации сырья [27]. Поэтому для производства биомассы из ВПП зернобобовых культур, наряду с обеспечением кормовой ценности, необходимы новые решения, направленные на ресурсосбережение и экологическую безопасность с вовлечением в процессы биотрансформации всего комплекса таких продуктов.

Цель исследований – разработка комплексной биоконверсии жидкой сыворотки с нерастворимым крахмалобелковым остатком, которые образуются как вторичные продукты переработки гороховой муки, на белковый концентрат пищевого назначения и кормовые дрожжи.

Научная новизна – впервые теоретически обоснован способ кислотного гидролиза НКБО и его совместной биоконверсией с сывороткой, остающейся после выделения пищевого белкового концентрата, в кормовые дрожжи. Установлена ступенчатая глубина гидролиза и выявлена наиболее эффективная ассоциация культур микроорганизмов для синтеза кормовых дрожжей с ценным химическим составом.

Материал и методы. В качестве основных объектов исследования использовали сыворотку из муки, полученной из зерна гороха посевного сорта Ямал, с массовой долей, % на СВ: белок (Nx6,25) – 25,7; зола – 2,67; жир – 1,46; крахмал – 51,50; углеводы – 18,76. Горох выращен в Алтайском крае в 2019-2022 году. Объектом сравнения по отдельным показателям служили кормовые дрожжи, полученные из нутовой муки.

Для получения БК использовали ферментные препараты (ФП) компании Novozymes (Дания): Shearzym 500 L с ксиланазной активностью 500 ед/г, Viscoferm L с целлюлолитической активностью 600 ед/г; Fungamyl 800 L – источник α -амилазы; AMG 300 L 2500 – источник глюкоамилазы; Alcalase 2,4 L FG – источник протеаз. Осаждение белков из экстракта проводили в изoeлектрической точке лактатом кальция (ГОСТ 31905-2012) – Е₃₂₇ и ФП трансклутаминой (Фарма Ингредиентс) с активностью 100 ед/г.

Содержание сухих веществ (СВ) в сыворотке – 3,5±1,3 %, массовая доля, % на СВ: общий белок (Nx6,25) – 28,35±0,75, истинный белок – 11,06±0,23, небелковый азот – 17,28±0,23;

рН 6,0–6,5. Влажность НКБО – 11,37±0,37 %; на СВ, %: белок (Nx6,25) – 7,07±2,80; крахмал – 61,30±0,4; волокна – 28,11±0,41; жир – 2,89±0,23; зола – 0,63±0,02. Для биоконверсии сыворотки и НКБО муки использовали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* 121 из коллекции Института микробиологии им. С. М. Виноградского и микромицет *Geotrichum candidum* 977, филогенетическое положение которого установлено в ФГБУ ГосНИИгенетика (рег. № ВКПМ Y-300).

Музейные культуры с сусл-агара пересевали в пробирку с сывороткой и культивировали 24 ч. Культуру пересевали в колбы с питательной средой и выращивали на качалке при 27±1 °С и скорости вращения 150 мин⁻¹ 48 ч. Суспензию инактивировали при 95±5 °С и охлаждали 10-15 мин при температуре 22±2 °С. Биомассу от культуральной жидкости отделяли центрифугированием при 4 000 мин⁻¹ в течение 10 мин. Кормовые дрожжи из биомассы (КД-1), дрожжи из биомассы с культуральной жидкостью (КД-2) и БК сушили на лиофильной установке Hochvacuum HVDTG-50 (Германия) в вакууме при -80 °С.

Массовую долю общего белка определяли по ГОСТ 10846-91, истинного белка – по методу Барнштейна, влаги – ГОСТ 13586.5-93, золы – ГОСТ 27494-87, жира – ГОСТ 29033-91, восстанавливающих сахаров (ВС) – из данных хроматографии. Идентификацию пиков проводили по библиотеке масс-спектров NIST 11 и метчикам: арабинозе, глюкозе, ксилозе, раффинозе, мальтозе и другим химически чистым углеводам. Аминокислотный состав КД анализировали на хроматографе модели L-8800 фирмы Hitachi (Япония) в режиме анализа белковых гидролизатов с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратного буферного раствора с возрастающим значением рН и молярности (ГОСТ 32195-2013). Жирнокислотный состав липидов КД исследовали на хроматографе с масс-детектором Simadzu GCMS-QP 2010 Ultra при 120 °С с носителем гелием при скорости потока 35,6 см/сек.

Для проведения электрофореза в ПААГ с SDS 50 мкг белковой пробы смешивали с буфером в соотношении 1:1. Буфер готовили из 60 см³ глицерина, 1 мг бромфенол-синего с доведением рН до 6,8 концентрированной HCl. Добавляли 5 см³ β-меркаптоэтанола, объем доводили до 100 см³. Пробы и растворы белковых маркеров в количестве 102 мкг/30 мкл нагревали 2 мин при 95-100 °С. Для приготовления 15%-го разделяющего геля смешивали 4,5 см³

раствора АБ (навеску 29,6 г акриламида растворяли в небольшом количестве воды, добавляли 0,4 г бисакриламида, доводили объем до 100 см³), 2,5 см³ трис-НСI буфера, рН 8,0, 8,3 см³ воды, 20 мкл ТЕМЕД, 160 мкл персульфата аммония (ПСА). Для приготовления концентрирующего геля смешивали 1 см³ раствора АБ, 1 см³ трис-НСI буфера с рН 6,8, 3 см³ воды, 20 мкл ТЕМЕД, 160 мкл ПСА.

Перевариваемость КД исследовали по ГОСТ 24230-80, количество нуклеиновых кислот – по методу Спирина (ОФС.1.7.2.0018.15). Результаты обработаны в программах Table

Curve 2D 5.1, Table Curve 3D 4.0, Mathematica 10.3 и Statistica 10. Доверительный интервал среднего арифметического рассчитан по уровню значимости $p = 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Для разработки комплексной биотехнологии пищевого и кормовых БК из гороховой муки разработана биоконверсия сыворотки, остающейся после осаждения белков из экстракта в изоэлектрической точке, и биоконверсия ее совместно с НКБО, который выделяли центрифугированием белкового экстракта, полученного из муки с ФП по схеме, приведенной на рисунке 1.

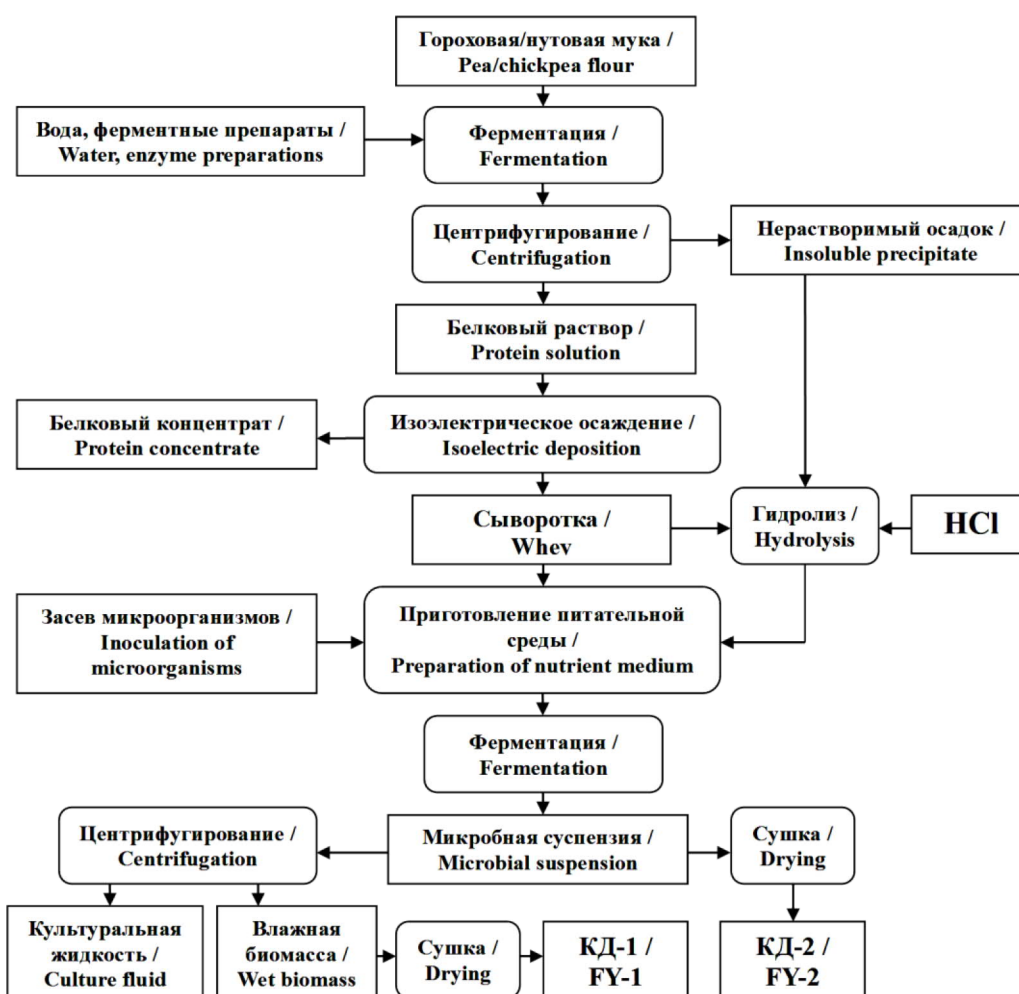


Рис. 1. Схема переработки гороховой муки на белковый концентрат (БК) и кормовые дрожжи (КД) / Fig. 1. Scheme of processing pea flour into protein concentrate (PC) and fodder yeast (FY)

Биоконверсия гороховой сыворотки. Для биоконверсии ВПП муки отобрали наиболее эффективные микроорганизмы из дрожжей родов *Pichia*, *Rhodotorula*, *Hansenula*, *Saccharomyces* и микромицетов родов *Geotrichum* и *Penicillium*. Наиболее активно на гороховой

сыворотке росли дрожжи *S. cerevisiae* 121 и микромицет *G. candidum* 977, из которых при соотношении 1:1 на 2-е сутки роста уже формировался консорциум. Морфология клеток монокультур и их консорциума представлена на рисунке 2.

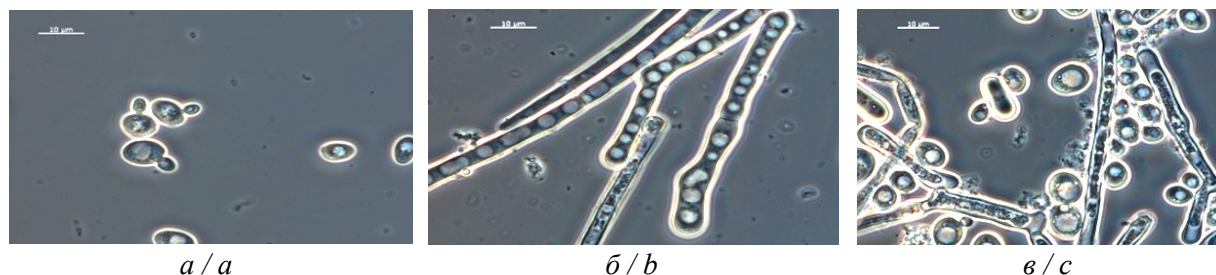


Рис. 2. Клетки монокультур и их консорциума: *S. cerevisiae* 121 (а), *G. candidum* 977 (б), *S. cerevisiae* 121 + *G. candidum* 977 (в) /

Fig. 2. Cells of monocultures and their consortium: *S. cerevisiae* 121 (a), *G. candidum* 977 (b), *S. cerevisiae* 121 + *G. candidum* 977 (c)

Наиболее эффективным для роста микроорганизмов был диапазон pH 6,0-6,5; при более низких значениях pH (4,5-5,0) или более высоких (7,5-8,0) рост замедлялся. При выращивании дрожжей на сыворотке белка в биомассе синте-

зировалось в 3,5 раза меньше, микромицета – на 15 %, чем при их совместном культивировании ($57,90 \pm 0,51$ % на СВ). Самое большее количество СВ также накапливалось при культивировании консорциума (табл. 1).

Таблица 1 – Массовая доля белка и СВ в биомассе микроорганизмов на гороховой сыворотке /
Table 1 – Mass fraction of protein and dry matter in the biomass of microorganisms on pea whey

Биомасса с культурой / Biomass with culture	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Белок, % на СВ / Protein, % per DM
<i>G. candidum</i> 977	$17,49 \pm 0,21$	$16,39 \pm 0,31$
<i>S. cerevisiae</i> 121	$19,21 \pm 0,34$	$50,23 \pm 0,42$
<i>G. candidum</i> 977 + <i>S. cerevisiae</i> 121	$18,89 \pm 0,41$	$57,90 \pm 0,51$

Для выявления оптимальных параметров и определения закономерностей влияния pH среды, температуры, количества посевного материала на рост биомассы составлен план эксперимента в виде латинских квадратов. Матрица обработана в программе Statistica 12.5. Определены значения коэффициентов регрессии и уровень значимости p . Все коэффициенты уравнения значимы ($p \leq 0,05$), коэффициент корреляции ($r = 0,9644$) указывал на адекватное описание полученных данных.

Уравнение:

$$md = -2,94 + 0,544 pH - 0,0356 pH^2 + 0,181 t - 0,003 t^2 - 0,147 cm + 0,0276 cm^2 - 0,00447 pH t,$$

где pH – pH среды; t – температура, °C;
 cm – количество посевного материала, %.

Расчетные данные по уравнению и абсолютная ошибка приведены в таблице 2. В программе Mathematica 12.1 определяли зависимость массовой доли биомассы md от влияющих факторов и их оптимальные значения для ее максимального выхода: pH среды – 6,03, температура 25,7 °C, количество посевного материала $cm = 4$ %.

Таблица 2 – Зависимость выхода биомассы микроорганизмов от влияющих факторов (экспериментальные, расчетные данные и абсолютная ошибка) /

Table 2 – Dependence of microbial biomass yield on influencing factors (experimental, calculated data and absolute error) /

Данные / Data		Абсолютная ошибка / Absolute error	Данные / Data		Абсолютная ошибка / Absolute error
опыт / experiment	расчет / calculation		опыт / experiment	расчет / calculation	
0,611	0,647450	-0,036450	0,791	0,775625	0,015375
0,816	0,762500	0,053500	0,811	0,809175	0,001825
0,757	0,780425	-0,023425	0,708	0,672100	0,035900
0,570	0,554225	0,015775	0,413	0,437900	-0,024900
0,776	0,756350	0,019650	0,616	0,631775	-0,015775
0,774	0,793900	-0,019900	0,751	0,734825	0,016175
0,711	0,734325	-0,023325	0,553	0,593750	-0,040750
0,573	0,577625	-0,004625	0,313	0,282050	0,030950

На рисунках 3, а (3D) и 3, б приведены закономерности изменения количества выхода биомассы от pH и температуры среды (t , °C) при концентрации посевного материала $cm = 4\%$. На рисунке 3, в представлена зависимость выхода

биомассы от продолжительности роста и количества посевного материала от 1 до 7 %, 3, с – выхода биомассы в процессе роста при всех выявленных оптимальных параметрах.

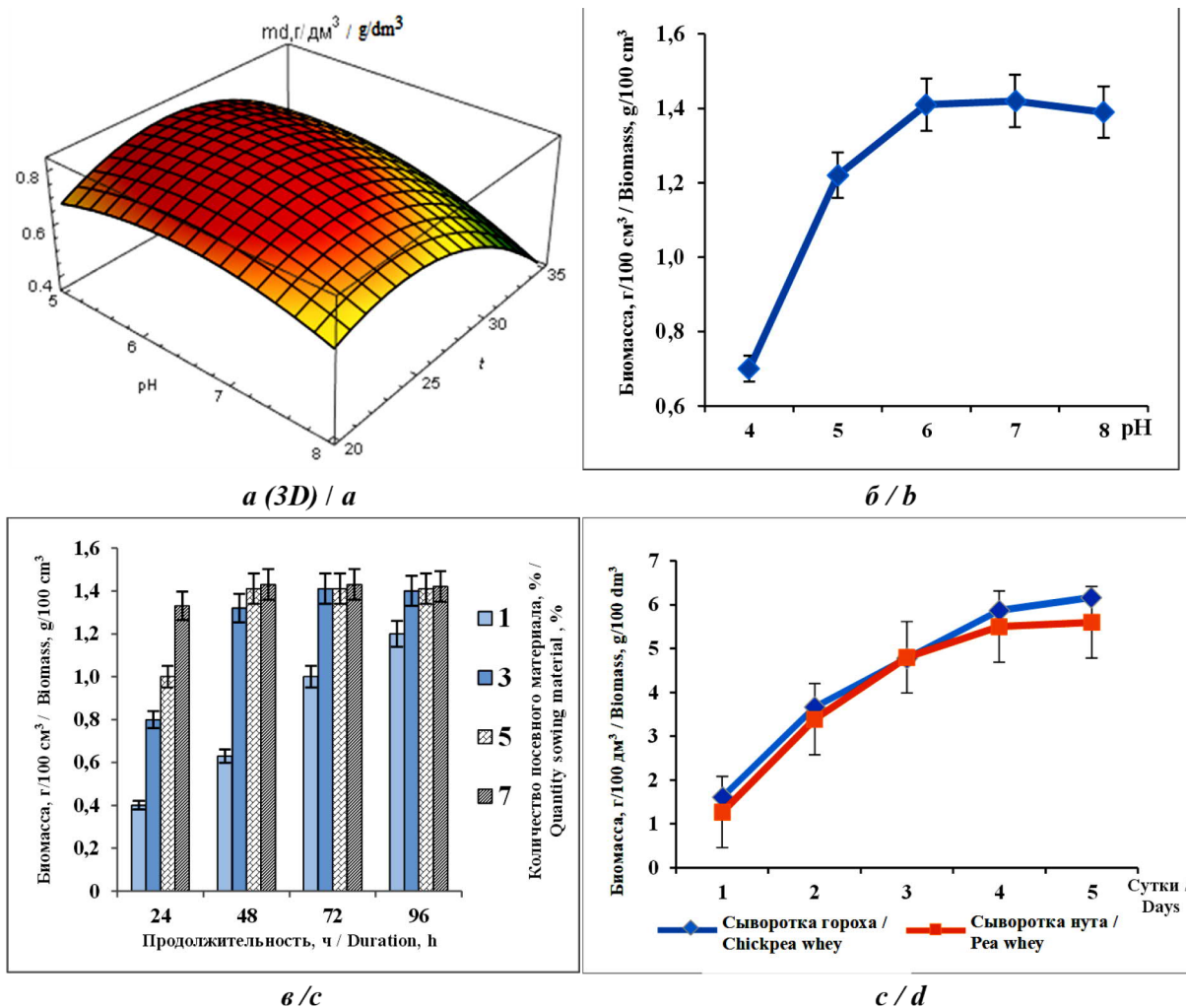


Рис. 3. Зависимость выхода биомассы: а (3D) – от pH и температуры среды (t , °C); б – от pH ; в – от продолжительности роста и количества посевного материала; с – при всех оптимальных параметрах роста /

Fig. 3. Dependence of biomass yield: а (3D) – on pH and ambient temperature (t , °C); б – on pH ; в – on the duration of growth and the amount of seeds; d – for all optimal growth parameters

После 2-й стадии экстракции белков с ФП количество высокомолекулярных соединений (ВМС), по сравнению с 1-й стадией, уменьшилось на 10 %, три- и тетрадисахаридов – почти в 2 раза, но вдвое увеличилось количество глюкозы, в 3 раза – фруктозы, галактозы, ксилозы и на 14 % – арабинозы (табл. 3). Под влиянием протеаз на 3-й стадии экстракции доля ВМС уменьшилась на 37 % относительно 1-й стадии, дисахаридов – на 38 %, а количество моносахаридов (фруктоза, галактоза, ксилоза), часть из которых, вероятно, образовалась при гидролизе гемицеллюлоз, увеличилось в 3,4 раза.

После осаждения белка из экстракта в сыворотке преобладали галактоза, ксилоза, фруктоза, раффиноза, стахиоза, обнаружены также мальтоза, глюкоза, арабиноза, т. е. она содержала низкомолекулярные сахараиды, что являлось благоприятным для роста микроорганизмов. За 4-5 суток синтеза биомассы микроорганизмы усваивали глюкозу, ксилозу, галактозу, фруктозу, сумма которых в культуральной жидкости уменьшилась более чем в 40 раз (табл. 4). Раффиноза, стахиоза, арабиноза почти не усваивались. Наличие сахарозы в культу-

ральной жидкости, возможно, было связано с гидролизом α -1 $\rightarrow$ 6- гликозидной связи между остатками галактозы и сахарозы в молекуле раффинозы. Росту биомассы способствовало также наличие в сыворотке небелкового азота ($\sim$ 17,3 %) и низкомолекулярных одноцепочечных

белковых компонентов (ММ 10÷25 кДа). Если мука содержала белки с ММ от 15 до >250 кДа из одноцепочечных компонентов, соединенных—S—S— связями с ММ от 10 до 150 кДа, то сывортка имела в составе только одноцепочечные полипептиды с низкой ММ.

Таблица 3 – Массовая доля углеводов в экстрактах, % от общего количества /
Table 3 – Mass fraction of carbohydrates in extracts, % of total amount

Продукт, стадия экстракции (ст) / Product, extraction stage (st)	ВМС / HMC	Раффиноза, стахиоза / Raffinose, stachyose	Сахароза / Мальтоза / Sucrose / Maltose	Глюкоза / Glucose	Фруктоза, галактоза, ксилоза / Fructose, galactose, xylose	Арабиноза / Arabinose
Экстракт, 1 ст / Extract, 1 st	23,43	23,93	0/31,81	10,11	8,40	2,31
Экстракт, 2 ст / Extract, 2 st	21,12	11,95	6,70/12,33	20,48	24,79	2,64
Экстракт, 3 ст / Extract, 3 st	14,77	20,27	8,99/10,91	13,89	28,39	2,78

Таблица 4 – Углеводный состав сыворотки и культуральной жидкости в процессе синтеза биомассы, % от общего количества /
Table 4 – Carbohydrate composition of whey and culture fluid in the process of biomass synthesis, % of total amount

Рост биомассы, сутки / Biomass growth, days	ВМС / HMC	Раффиноза, стахиоза / Raffinose, stachyose	Сахароза / Sucrose	Мальтоза / Maltose	Глюкоза / Glucose	Фруктоза, галактоза, ксилоза / Fructose, galactose, xylose	Арабиноза / Arabinose
	Сыворотка / Whey						
	13,01 $\pm$ 0,43	26,38 $\pm$ 1,2	0,0	14,98 $\pm$ 2,3	9,66 $\pm$ 1,2	32,06 $\pm$ 1,6	4,90 $\pm$ 0,2
	Культуральная жидкость / Culture fluid						
1	57,56 $\pm$ 0,10	26,00 $\pm$ 0,81	4,73 $\pm$ 0,21	8,21 $\pm$ 0,07	0,0	0,0	3,51 $\pm$ 0,41
2	53,78 $\pm$ 0,09	33,30 $\pm$ 0,70	0,0	8,07 $\pm$ 0,06	0,0	0,0	4,86 $\pm$ 0,13
3	55,88 $\pm$ 0,08	28,28 $\pm$ 1,20	3,05 $\pm$ 0,50	7,79 $\pm$ 0,08	0,0	0,0	5,02 $\pm$ 0,05
4	58,47 $\pm$ 1,10	27,04 $\pm$ 0,92	0,0	10,05 $\pm$ 0,10	0,0	0,0	4,45 $\pm$ 0,33

Консорциум, сформированный из клеток *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977, при росте на благоприятном составе сыворотки (рис. 4), обеспечивал следующий химический состав сухих препаратов: из биомассы (КД-1), в % на СВ: белок (N $\times$ 6,25) – 70,48 $\pm$ 0,41, зола – 1,55 $\pm$ 0,07,

жир – 4,47 $\pm$ 0,27, углеводы – 24,5 $\pm$ 0,76; из биомассы с культуральной жидкостью (КД-2): белок (N $\times$ 6,25) – 61,68 $\pm$ 0,4, зола – 8,60 $\pm$ 0,03, жир – 8,31 $\pm$ 0,36, углеводы – 21,41 $\pm$ 0,55. Препараты представляли собой порошки светло-кремового цвета без горюхового запаха.

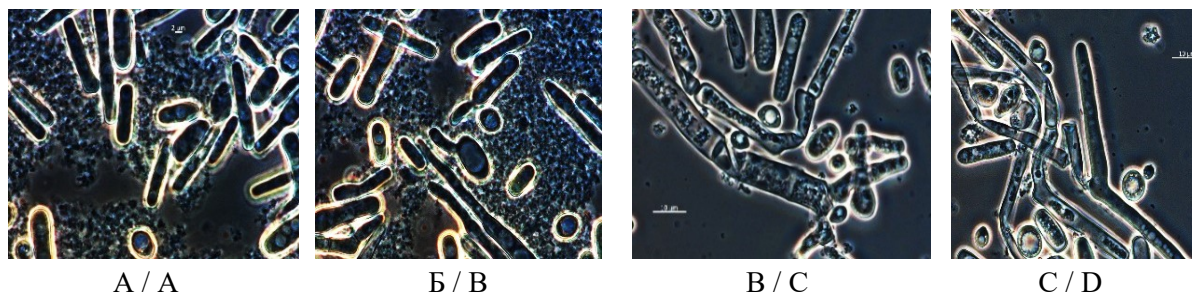


Рис. 4. Клетки *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977 в процессе роста на сыворотке: А, Б – 24 ч; В, С – 48 ч /
Fig. 4. Cells of *S. cerevisiae* 121 and *G. candidum* 977 during growth on whey: А, В – 24 hours; С, D – 48 hours

Гидролиз НКБО и биоконверсия его с сывороткой. Для утилизации НКБО, образующегося после центрифугирования белкового экстракта из мучной суспензии, предварительно разработаны параметры его гидролиза и условия микробной биоконверсии с тем же консорциумом микроорганизмов. НКБО содержал $61,30 \pm 0,4$ % крахмала и $28,11 \pm 0,41$ % некрахмальных полисахаридов.

Гидролиз полисахаридов и белка выполнен с 2,5 % HCl при гидромодуле 1:8, температуре 95 °C и перемешивании при 4000 мин⁻¹. Наибольшее количество сухого вещества, восстанавливающих сахаров (ВС) и растворимого белка накапливалось при pH 1,8 (табл. 5, рис. 5). Крахмал гидролизировался до мальтодекстринов, неокрашивающихся с йодом.

Таблица 5 – Состав декстринов, содержание сухого вещества и белка при различном pH гидролиза НКБО / Table 5 – Composition of dextrins, dry matter and protein content at different pH values of ISPR hydrolysis

Показатель / Index	pH в контроле (без гидролиза) / pH in control (no hydrolysis)	pH гидролиза / pH of hydrolysis			
	5,5	5,1	4,0	3,3	1,8
Декстрины / Dextrins	-	амило- / amylo-	эритро- / erythro-	ахро- / achro-	мальто- / malto-
СВ, % / DM, %	4,0	4,6	5,0	5,0	6,4
Белок, % на СВ / Protein, % on DM	8,05	8,90	11,75	12,71	17,69

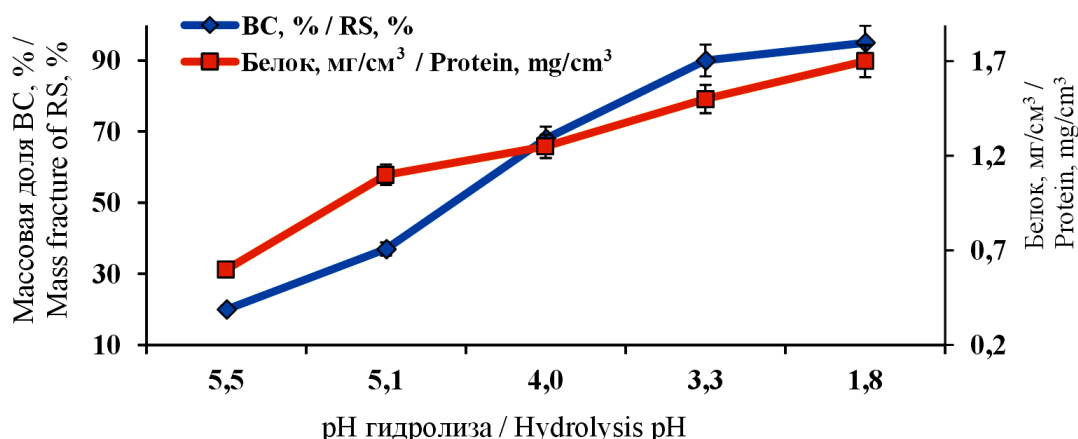


Рис. 5. Влияние pH среды на массовую долю ВС и растворимого белка в гидролизате /

Fig. 5. Influence of medium pH on the mass fraction of RS and soluble protein in the hydrolysate

В гидролизате НКБО pH корректировали до 6,0-6,5, суспензию центрифугировали, стерилизовали при 1 атм и 125 ± 2 °C в течение 15 мин и засеивали *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977. После роста культур в течение 4 суток их инактивировали 15 мин при 95 ± 5 °C. Чем выше степень гидролиза НКБО (мальтодекстрины), тем больше массовая доля растворимого белка в гидролизате. При pH 1,8 количество белка в биомассе повышалось в 2,2 раза по сравнению с контролем (табл. 5). С другой стороны, в культуральной жидкости увеличивалось количество ВМС: с 43,34 % в контроле до 80,32-90,0 % в опытах; полностью отсутствовала глюкоза и большая часть мальтозы (табл. 6). Фруктоза, арабиноза, ксилоза при pH 1,8 не усваивалась культурами.

Совместная биоконверсия НКБО и сыворотки. К массе сыворотки добавляли 2-10 % НКБО и проводили кислотный гидролиз при pH 1,8-2,0 в течение 25-30 мин при температуре 110-129 °C и давлении 1 атм. Доводили pH до 6,5-6,7, продукт выдерживали при 110-120 °C в течение 15-20 мин и охлаждали. В среду вносили 3-5 % к ее массе *S. cerevisiae* 121 и *G. Candidum* 977 и ферментировали 3-4 суток. Суспензию нагревали до температуры 90-100 °C в течение 10-20 мин и высушивали. В процессе роста биомассы из ВПП полностью усваивались стахиоза, мальтоза, сахароза, арабиноза, больше чем наполовину – глюкоза, и почти вся фруктоза, галактоза, ксилоза (табл. 7). Сухие КД представляли собой рассыпчатые порошки светло-кремового цвета с приятным запахом.

Таблица 6 – Углеводный состав культуральной жидкости, % от общего количества /

Table 6 – Carbohydrate composition of the culture fluid, % of total amount

<i>pH гидролиза / Hydrolysis pH</i>	<i>ВМС / HMC</i>	<i>Олиго- сахариды / Oligosaccharides</i>	<i>Мальтоза / Maltose</i>	<i>Глюкоза / Glucose</i>	<i>Фруктоза / Fructose</i>	<i>Арабиноза, ксилоза / Arabinose, xylose</i>
Контроль / Control	43,34±0,1	0	1,28±0,5	55,38±0,5	0	0
4,0	90,0±0,9	6,03±0,8	0	0	3,43±0,3	0
3,3	80,32±0,4	15,52±0,6	0,41±0,1	0	3,47±0,2	0
1,8	86,74±1,1	2,43±0,9	0,33±0,3	0	3,49±0,5	7,06±0,1

Таблица 7 – Углеводный состав ВПП гороховой муки и кормовых дрожжей, % от общего количества /

Table 7 – Carbohydrate composition of pea flour and fodder yeast SPP, % of total amount

<i>Продукт / Product</i>	<i>ВМС / HMC</i>	<i>Стахиоза / Stachyose</i>	<i>Раффиноза / Raffinose</i>	<i>Сахароза, мальтоза / Sucrose, maltose</i>	<i>Глюкоза / Glucose</i>	<i>Фруктоза, галактоза, ксилоза / Fructose, galactose, xylose</i>	<i>Арабиноза / Arabinose</i>
ВПП / SPP	32,01	26,38	0	14,98	9,66	12,06	4,90
КД / FY	68,83	0	26,21	0	3,87	1,09	0

Химический состав и кормовая ценность дрожжей. КД-1, полученные из сыворотки, содержали почти на 10 абс.% больше белка, в 4 раза больше жира, в 1,4 и 2,5 раза меньше

нерастворимых и растворимых волокон, чем КД-2, полученные из сыворотки совместно с гидролизатом НКБО (табл. 8).

Таблица 8 – Химический состав КД из вторичных продуктов переработки гороховой муки, % на СВ /

Table 8 – Chemical composition of FY from secondary products of pea flour processing, % on DM

<i>Продукт / Product</i>	<i>Влажность, % / Moisture, %</i>	<i>Белок (Nx6,25) / Protein</i>	<i>Зола / Ash</i>	<i>Жир / Lipids</i>	<i>Волокна / Fibers</i>	
					<i>растворимые / soluble</i>	<i>нерастворимые / insoluble</i>
КД-1 / FY-1	6,81±0,4	61,68±0,47	8,60±0,03	8,31±0,36	7,13±0,55	14,27±0,44
КД-2 / FY-2	6,81±0,4	51,09±0,47	5,60±0,03	2,04±0,19	13,51±0,55	20,48±0,35

Наряду с высоким содержанием белка (51,09-64,10 %), КД имели и ценный аминокислотный состав (рис. 6). У КД-1 из сыворотки в большей степени он представлен глутаминовой, аспарагиновой кислотами, аланином, пролином, глицином, в КД-2 из сыворотки с

НКБО – аспарагиновой кислотой, глутаминовой, аланином, лизином, лейцином. Аминокислотный скор КД-1 (107-247 %) и КД-2 (81-128 %) указывал на высокую биологическую ценность кормовых дрожжей (табл. 9).

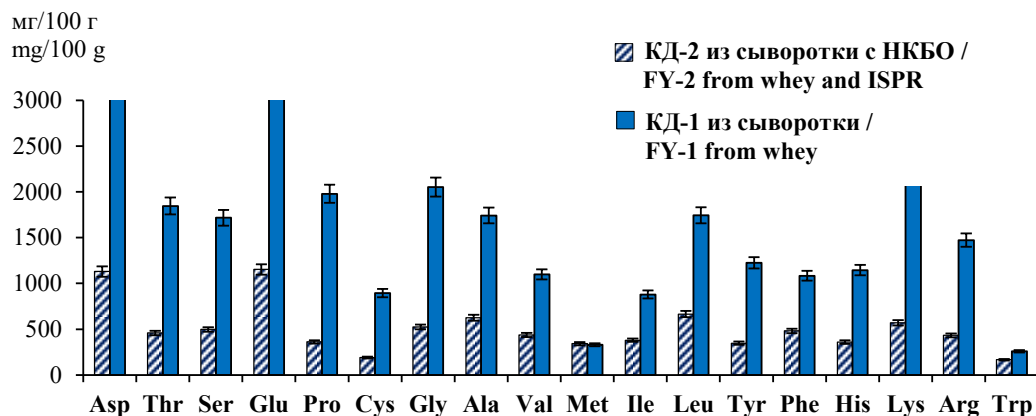


Рис. 6. Аминокислотный состав дрожжей из ВПП гороховой муки /

Fig. 6. Amino acid composition of yeast from pea flour SPP

Таблица 9 – Аминокислотный скор КД из сыворотки и сыворотки с НКБО, % /

Table 9 – Amino acid score of FY from serum and serum with ISPR, %

Дрожжи / Yeast	Скор незаменимых аминокислот, % / Essential amino acids score, %								
	Вал / Val	Гис / His	Изо / Ile	Лей / Leu	Лиз / Lys	Мет + Цис / Met + Cys	Тре / Thr	Три / Trp	Фен+Тир / Phe+Tyr
КД-1 / FY-1	107	219	124	107	116	226	179	247	197
КД-2 / FY-2	100	124	91	90	81	93	128	100	100

Жирнокислотный состав КД из ВПП гороховой муки на 97,0 % представлен кислотами, входящими в состав растительных и животных жиров (пальмитиновая, олеиновая, стеариновая, линолевая, маргариновая и др.), а также эфиром и спиртами со свойствами ароматизаторов, эфирных масел и метаболитов (3,0 %). Соотношение в КД суммы насыщенные (23,5 %) и ненасыщенные жирные кислоты (71,67 %) – 1:3, содержание омега-6 кислот – 19,73 %, цис-изомеров – 91,1 %, транс-изомеров – до 5,0 %. КД-2 содержали 14 макро- и микроэлементов (табл. 10). Массовая доля нуклеиновых кислот в КД-1, выращенных на сыворотке, составила $5,20 \pm 0,97$ мг/100 г, или 0,005 % к массе продукта, в КД-2, выращенных на сыворотке с НКБО – $71,72 \pm 0,49$ мг/100 г, или 0,072 % к массе продукта. Перевариваемость дрожжей составила 85,73-89,74 %. Полученные показатели указывают на высокое качество и безопасность продуктов.

Между цветом КД и массовой долей в них фенолкарбоновых кислот и их производных (ФККиП) обнаружена тесная взаимосвязь. КД-1 светло-желтого цвета содержали в 13,7 раза меньше таких соединений по сравнению со светло-коричневыми КД-2 (рис. 7, табл. 11).

Коэффициент корреляции между оптической плотностью D_{590} водных растворов КД и массовой долей ФККиП к 1 г белка составил $r = 0,897$.

Таблица 10 – Содержание макро- и микроэлементов в КД-2 /

Table 10 – The content of macro- and microelements in FY-2

Элемент / Element	Содержание / Content
Натрий, мг/100 г / Sodium, mg/100 g	1163 ± 81
Калий, мг/100 г / Potassium, mg/100 g	1844 ± 100
Кальций, мг/100 г / Calcium, mg/100 g	2000 ± 120
Магний, мг/100 г / Magnesium, mg/100 g	121 ± 8
Железо, мг/100 г / Iron, mg/100 g	$6,30 \pm 0,46$
Цинк, мг/100 г / Zinc, mg/100 g	$14,0 \pm 1,2$
Медь, мг/100 г / Copper, mg/100 g	$1,12 \pm 0,04$
Марганец, мг/100 г / Manganese, mg/100 g	$1,56 \pm 0,08$
Кобальт, мкг/100 г / Cobalt, µg/100 g	57 ± 2
Никель, мкг/100 г / Nickel, µg/100 g	440 ± 36
Свинец, мг/кг / Lead, mg/kg	$\leq 0,001$
Кадмий, мг/кг / Cadmium, mg/kg	$0,071 \pm 0,009$
Хром, мг/кг / Chromium, mg/kg	$\leq 0,005$
Молибден, мг/кг / Molybdenum, mg/kg	$\leq 0,04$



Рис. 7. Внешний вид кормовых дрожжей: гороховый 1 – КД-1, 2 – КД-2; нутовый 3 – КД-1, 4 – КД-2 / Fig. 7. Appearance of fodder yeast: pea 1 – FY-1, 2 – FY-2; chickpea 3 – FY-1, 4 – FY-2

В линейку полученных данных включили и результаты для КД, полученные из нутовой муки по аналогичной схеме экстрагирования

(рис. 1). Данные результаты следует учитывать при выборе сырья с целью получения стабильно светло-желтого цвета дрожжей.

Таблица 11 – Массовая доля ФККиП и оптическая плотность растворов кормовых дрожжей /
Table 11 – Mass fraction of PAaD and optical density of feed yeast solutions

Продукт / Product	Цвет продукта / Product color	$D_{590, \text{нм}}^* / D_{590, \text{nm}}$	Белок, % на СВ / Protein, % DM	ФККиП**, мг/г белка / PAaD*, mg/g protein
Дрожжи из гороховых субстратов / Yeast from pea substrates				
КД-1 из сыворотки / FY-1 from whey	Светло-желтый / Light yellow	0,040	61,68±0,47	2,85±0,38
КД-2 из сыворотки и НКБО / FY-2 from whey and ISPR	Светло-коричневый / Light brown	0,100	51,09±0,47	39,14±0,85
Дрожжи из нутовых субстратов / Yeast from chickpea substrates				
КД-2 из сыворотки и НКБО / FY-2 from whey and ISPR	Темно-желтый / Dark yellow	0,085	47,15±0,62	26,68±0,55

*Оптическая плотность; **Фенолкарбоновые кислоты и их производные /

*Optical density; **Phenolcarboxylic acids and their derivatives

Выводы. 1. Доказана возможность проведения комплексной биоконверсии ВПП гороховой муки (жидкая сыворотка, НКБО) на пищевой БК для получения кормовых дрожжей. С помощью математических методов планирования и обработки данных определены оптимальные параметры биоконверсии. Предварительно разработаны режимы кислотного гидролиза НКБО (рН среды, продолжительность, температура, давление). Наряду с гексозами (глюкоза, фруктоза, галактоза) и дисахаридами (мальтоза, сахароза), культуры усваивали и арабинозу, ксилозу и тетрасахарид – стахиозу.

2. Сухие КД содержали 51,09-61,68 % белка на СВ, липиды, растворимые и нерастворимые волокна, зольные элементы. Аминокис-

лотный скор белков – 90-247 %, соотношение насыщенные (23,5 %) и ненасыщенные жирные кислоты – 1:3, омега-6 жирные кислоты – 19,73 %, транс-изомеры – менее 5,0 %. Дрожжи содержали 14 макро-микроэлементов, включая натрий, калий, кальций, магний, цинк. КД безопасны по содержанию нуклеиновых кислот и тяжелых металлов, перевариваемость *in vitro* – 85,73-89,74 %.

3. Способ утилизации ВПП гороховой муки комплексной биоконверсией в кормовые дрожжи с их ценным химическим составом перспективен для получения качественных белоксодержащих кормовых добавок и сохранения экологической безопасности окружающей среды.

References

1. Xu J. C., Zhang M. L., He T., Luo H. J., Peng K. M., Huang X. F., Liu J. Application of de-lignified cellulose to enhance intracellular and extracellular lipid production from oleaginous yeast using acetic acid. *Bioresource Technology*. 2019;293:122032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122032>
2. Sarris D., Sampani Z., Rapti A., Papanikolaou S. Valorization of Crude Glycerol, Residue Deriving from Biodiesel- Production Process, with the Use of Wild-type New Isolated *Yarrowialipolytica* Strains: Production of Metabolites with Pharmaceutical and Biotechnological Interest. *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2019;20(10):881-894. DOI: <https://doi.org/10.2174/1389201020666190211145215>
3. Колпакова В. В., Уланова Р. В., Куликов Д. С., Гулакова В. А., Кадиева А. Т. Зерновые композиты с комплексным аминокислотным составом для пищевых и кормовых целей. *Техника и технология пищевых производств*. 2019;49(2):301-311. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311> EDN: EUOTKW
4. Kolpakova V. V., Ulanova R. V., Kulikov D. S., Gulakova V. A., Kadiyeva A. T. Grain composites with a complementary amino acid composition in food and fodder. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):301-311. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311>
5. Alves S. C., Diaz-Ruiz E., Lisboa B., Sharma M., Mussatto S. I., Thakur V. K., Kalaskar D. M., Gupta V. K., Chandel A. K. Microbial meat: A sustainable vegan protein source produced from agri-waste to feed the world. *Food Research International*. 2023;166:112596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112596>
6. Kurecz A., Błażej S., Kot A. M., Bzducha-Wróbel A., Kieliszek M. Application of Industrial Wastes for the Production of Microbial Single-Cell Protein by Fodder Yeast *Candida utilis*. *Waste and Biomass Valorization*. 2018;9(1):57-64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9782-z>
7. Błażej S., Gientka I., Bzducha-Wróbel A., Stasiak L., Maszewska M. Evaluation of the ability of the intracellular fat biosynthesis by *Rhodotorula gracilis* yeast in media containing potato wastewater enriched with glycerol. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 2014;576:3-12. URL: https://www.researchgate.net/publication/272086076_Evaluation_of_the_ability_of_the_intracellular_fat_biosynthesis_by_Rhodotorula_gracilis_yeast_in_media_containing_potato_wastewater_enriched_with_glycerol

7. Yadav J. S. S., Bezawada J., Ajila C. M., Yan S., Tyagi R. D., Surampalli R. Y. Mixed culture of *Kluyveromyces marxianus* and *Candida krusei* for single-cell protein production and organic load removal from whey. *Bioresource Technology*. 2014;164:119-127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.069>
8. Yue-Ming Zho, You-Peng Chen, Jin-Song Guo, Yu Shen, Peng Yan, Ji-Xiang Yang. Recycling of orange waste for single cell protein production and the synergistic and antagonistic effects on production quality. *Journal of Cleaner Production*. 2019;213(10):384-392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.168>
9. Carranza-Méndez R. C., Chávez-González M. L., Sepúlveda Torre L., Aguilar C. N., Govea-Salas M., Ramos-González R. Production of single cell protein from orange peel residues by *Candida utilis*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022;40:102298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2022.102298>
10. Ahlborn J., Stephan A., Meckel T., Maheshwari G., Rühl M., Zorn H. Upcycling of food industry side streams by basidiomycetes for production of a vegan protein source. *International journal of recycling of organic waste in agriculture*. 2019;8(1):447-455. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00317-4>
11. Kot A. M., Błażejak S., Kieliszek M., Gientka I., Bryś J., Reczek L., Pobiega K. Effect of exogenous stress factors on the biosynthesis of carotenoids and lipids by *Rhodotorula* yeast strains in media containing agro industrial waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2019;35:157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2732-8>
12. Shakira G., Qubtia M., Ahmed I., Hasan F., Anjum M. I., Imran M. Effect of indigenously isolated *Saccharomyces cerevisiae* probiotics on milk production, nutrient digestibility, blood chemistry and fecal microbiota in lactating dairy cows. *Journal of animal and plant sciences*. 2018;28(2):407-420. URL: https://www.researchgate.net/publication/318959513_Effect_of_Indigenously_Isolated_Saccharomyces_cerevisiae_Probiotics_on_Milk_Production_Nutrient_Digestibility_Blood_Chemistry_and_Fecal_Microbiota_in_Lactating_Dairy_Cows
13. Сербя Е. М., Соколова Е. Н., Фурсова Н. А., Волкова Г. С., Борщева Ю. А., Курбатова Е. И., Кукова Е. В. Получение биологически активных добавок на основе обогащенной дрожжевой биомассы. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018;(2):74-79.
- Serba E. M., Sokolova E. N., Fursova N. A., Volkova G. S., Borshcheva Yu. A., Kurbatova E. I., Kuksova E. V. Obtaining biologically active additives based on enriched yeast biomass. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2018;(2):74-79. (In Russ.).
14. Türker M., Mert Selimoğlu S., Taşpınar-Demir H. Chapter 12 – Waste(water) to feed protein effluent characteristics, protein recovery, and single-cell protein production from food industry waste streams. In book: *Clean Energy and Resource Recovery: Wastewater Treatment Plants as Biorefineries*, 2022. Pp. 201-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90178-9.00017-2>
15. Zott T., Solieri L., Iacumin L., Picozzi C., Gullo M. Valorization of cheese whey using microbial fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020;104:2749-2764. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10408-2>
16. Barba F. J. An integrated approach for the valorization of cheese whey. *Foods*. 2021;10(3):564. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10030564>
17. Sibtain A., Ghulam M., Muhammad A., Muhammad I. R. Fungal Biomass Protein Production from *Trichoderma harzianum* Using Rice Polishing. *BioMed Research International*. 2017;2017:6232793. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/6232793>
18. Сон О. М., Черевач Е. И., Текутьева Л. А. Использование отходов зерноперерабатывающей промышленности в микробиологическом синтезе кормового белка. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2016;(12):24-27.
- Son O. M., Cherevach E. I., Tekut'eva L. A. Use of grain-processing industry wastes in the microbiological synthesis of feed protein. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2016;(12):24-27. (In Russ.).
19. Machado W. R. M., Silva L. G., Vanzela E. S. L., Del Bianchi V. L. Production of carotenoids by *Rhodotorula toruloides* isolated from Brazilian tropical savannah. *International food research journal*. 2019;26(4):1259-1267. URL: https://www.researchgate.net/publication/350095973_Production_of_carotenoids_by_Rhodotorula_toruloides_isolated_from_Brazilian_tropical_savannah
20. Фоменко И. А., Дегтярев И. А., Иванова Л. А., Машенцева Н. Г. Разработка технологии белкового концентрата из дрожжевой биомассы *Kluyveromyces marxianus* Van der Walt (1965). *Сельскохозяйственная биология*. 2021;56(6):1172-1182. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus> EDN: TCIRAD
- Fomenko I. A., Degtyarev I. A., Ivanova L. A., Mashentseva N. G. A technology for obtaining a protein concentrate from yeast biomass of *Kluyveromyces marxianus* Van der Walt (1965). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2021;56(6):1172-1182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus>
21. Souza P. F. F., Nair R. B., Andersson D., Lennartsson P. R., Taherzadeh M. J. Vegan-mycoprotein concentrate from pea-processing industry byproduct using edible filamentous fungi. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2018;5:5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0050-9>
22. Лукин Н. Д., Уланова Р. В., Кравченко И. К., Колпакова В. В., Гольдштейн В. Г. Биоконверсия вторичных продуктов переработки зерна тритикале на крахмал с использованием гриба *Pleurotus ostreatus* 23. *Химия растительного сырья*. 2018;(4):225-234. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcpm.2018043993> EDN: VQQTUD
- Lukin N. D., Ulanova R. V., Kravchenko I. K., Kolpakova V. V., Gol'dshteyn V. G. Bioconversion of secondary grain treatment products of triticale on starch using the *Pleurotus ostreatus* 23 mushroom. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2018;(4):225-234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcpm.2018043993>

23. Колпакова В. В., Куликов Д. С., Уланова Р. В., Чумикина Л. В. Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение. Техника и технология пищевых производств. 2021;51(2):333-348. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348> EDN: PQCGGQ

Kolpakova V. V., Kulikov D. S., Ulanova R. V., Chumikina L. V. Food and feed protein preparations from peas and chickpeas: production, properties, application. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):333-348. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>

24. Slaný O., Klemková T., Marcinčák S., Čertík M. Production of high-value bioproducts enriched with γ -linolenic acid and β -carotene by filamentous fungi. *Umbelopsis isabellina* using solid-state fermentations. *Annals of Microbiology*. 2020;70:5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01545-0>

25. Chuppa-Tostain G., Hoarau J., Watson M., Adelard L., Sing A. S. Ch., Caro Y., Grondin I., Bourven I., Francois J.-M., Girbal-Neuhausser E., Petit T. Production of *Aspergillus niger* biomass on sugarcane distillery wastewater: physiological aspects and potential for biodiesel production. *Bioremediation, Biodiesel, Lipids. Fungal Biology and Biotechnology*. 2018;5:1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0045-6>

26. Kamani M. H., Meera M. S., Bhaskar N., Modi V. K. Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56:2660-2669. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03754-1>

27. Бограчева Т. Я., Гаревский Г. В., Гонсалес Р. О., Корабленко М. А. Способ получения изолята белка и крахмала из гороха: пат. № 2054265 Российская Федерация. №94007599: заявл. 28.02.1994; опубл. 20.02.1996. 10 с. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2054265C1_19960220

Bogracheva T. Ya., Garevskiy G. V., Gonsales R. O., Korablenko M. A. Method of preparing protein isolate and starch from pea: Patent RF, no. 2054265. 1996. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2054265C1_19960220

Сведения об авторах

✉ **Колпакова Валентина Васильевна**, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, Красково, Люберецкий район, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7288-8569>, e-mail: val-kolpakova@rambler.ru

Уланова Рузалия Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, научный сотрудник, Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук», Ленинский пр-т, 33, г. Москва, Российская Федерация, 119071, e-mail: info@fbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6315-7211>

Куликов Денис Сергеевич, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, Красково, Люберецкий район, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2171-0522>

Гулакова Валентина Андреева, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, Красково, Люберецкий район, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8393-9256>

Information about the authors

✉ **Valentina V. Kolpakova**, DSc in Engineering, professor, chief researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7288-8569>, e-mail: val-kolpakova@rambler.ru

Ruzaliya V. Ulanova, PhD in Biology, senior researcher, researcher, S. N. Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences, Leninskiy avenue, 33, Moscow, Russian Federation, 119071, e-mail: info@fbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6315-7211>

Denis S. Kulikov, researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2171-0522>

Valentina A. Gulakova, researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8393-9256>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1021-1028>

УДК 636.082

**Реализация генетического потенциала коров черно-пестрой породы различных генотипов по гену каппа-казеина**© 2023. А. Д. Лемякин, Л. С. Баданина, К. Д. Сабетова[✉], А. А. Чаицкий, П. О. Щеголев

ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», г. Кострома, Российская Федерация

Качественные показатели молока являются одним из существенных показателей, формирующих племенную ценность молочного скота. Опыт многих стран демонстрирует, что гоштинизация местных пород крупного рогатого скота сопровождается увеличением объема получаемого молока при одновременном снижении его качественных характеристик, необходимых в сыроделии. Решение данной проблемы лишь средствами традиционной селекции трудно выполнимо, но облегчить данную задачу возможно с применением современных молекулярно-генетических методов и маркер-ориентированной селекции. Цель работы состояла в оценке генетического потенциала молочной продуктивности коров с различными генотипами по гену каппа-казеина (CSN3). Исследование проводили на 104 чистопородных коровах черно-пестрой породы, отобранных из стад СПК «Яковлевское» и СПК «Расловское». Установлено, что наиболее часто встречался желательный генотип CSN3^{BB} – у 61 % животных. В рамках исследования проведено сопоставление собственной молочной продуктивности подопытных животных с продуктивностью их предков, что позволило судить об их генетическом потенциале. Анализ показал, что в СПК «Яковлевское» у носительниц генотипа CSN3^{AA} содержание белка в молоке было значимо меньше, чем у носительниц генотипов CSN3^{AB} ($P < 0,05$) и CSN3^{BB} ($P < 0,001$). По остальным показателям продуктивности статистически значимых различий не обнаружено, носительницы генотипа CSN3^{AB} наиболее полно реализовали свой генетический потенциал по массовой доле жира в молоке (100,9 %), а коровы с генотипом CSN3^{BB} – по удою и содержанию белка в молоке (106,7 и 103,9 % соответственно). В СПК «Расловское» животные с генотипом CSN3^{AA} наиболее полно реализовали свой генетический потенциал по удою (119,5 %), а носительницы генотипа CSN3^{BB} – по содержанию жира и белка в молоке (112,3 и 103,7 % соответственно). Таким образом, ген каппа-казеина крупного рогатого скота ассоциирован не только с содержанием белка в молоке, но и с реализацией генетического потенциала по данному показателю продуктивности. Полученные в данном исследовании результаты имеют большое практическое значение для селекционно-племенной работы с черно-пестрой породой крупного рогатого скота, направленной на улучшение сыропригодности молока.

Ключевые слова: CSN3, коровы, молочная продуктивность

Благодарности: работа выполнена по госзаказу Минсельхоза РФ (Комплексное влияние различных аллельных вариантов генов бета-, каппа-казеина и бета-лактоглобулина на технологические свойства молока в популяциях крупного рогатого скота Костромской области Рег. № И123052300045-5, Рег. № ПТНИ 1022040600673-1).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лемякин А. Д., Баданина Л. С., Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Щеголев П. О. Реализация генетического потенциала коров черно-пестрой породы различных генотипов по гену каппа-казеина. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1021-1028. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1021-1028>

Поступила: 19.07.2023

Принята к публикации: 24.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Realizing the genetic potential of black-and-white cows of different genotypes by the kappa-casein gene© 2023. Alexander D. Lemyakin, Lada S. Badanina, Ksenia D. Sabetova[✉], Alexey A. Chaitskiy, Pavel O. Schiogolev

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russian Federation

Milk quality indicators are one of the main components of the breeding value of dairy cattle. The experience of many countries demonstrates that the Holsteinization of local cattle breeds is accompanied by an increase in the volume of milk produced while reducing its quality characteristics in particular to its cheese suitability. Solving this problem only by means of traditional breeding is difficult but it is possible to facilitate this task with application of modern molecular genetic methods and marker-oriented selection. The objective of the research was to assess the genetic potential of dairy performance of cattle with different genotypes by the kappa-casein gene (CSN3). The study was conducted on 104 purebred Russian black-and-white cows selected from the herds of the Yakovlevskoye APC and Raslovskoye APC. It was determined that the desired CSN3^{BB} genotype was most common in 61 % of animals. As part of the study, the comparison of the experimental animals' own milk productivity with the productivity of their ancestors was carried out which made it possible to assess their genetic

potential. The analysis showed that in the Yakovlevskoye APC, the protein content in milk in carriers of the CSN3^{AA} genotype was significantly less than in carriers of the CSN3^{AB} ($P < 0.05$) and CSN3^{BB} ($P < 0.001$) genotypes. There were no statistically significant differences in other productivity indicators, although the carriers of the CSN3^{AB} genotype (100.9%) differed in the greatest realization of the genetic potential in terms of the mass fraction of fat in milk, and cows with the CSN3^{BB} genotype (106.7 and 103.9 % respectively) in milk yield and protein content in milk. In the Raslovskoye APC, the greatest realization of the genetic potential in milk yield (119.5 %) was distinguished by carriers of the CSN3^{AA} genotype and the greater potential of fat and protein in milk were shown by animals with the CSN3^{BB} genotype (112.3 % and 103.7 %, respectively). Thus, the polymorphism of bovine kappa-casein gene has a significant impact both on the protein content in milk and on the realization of the genetic potential for this indicator of productivity. The obtained research results are important for breeding work with Russian black-and-white cattle aimed at improving the cheese suitability of milk.

Keywords: CSN3, cows, milk productivity

Acknowledgements: the work was carried out according to the state order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (The complex effect of various allelic variants of beta-, kappa-casein and beta-lactoglobulin genes on the technological properties of milk in the populations of cattle of the Kostroma region Reg. No. I123052300045-5, Reg. No. PTNI 1022040600673-1).

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: Lemyakin A. D., Badanina L. S., Sabetova K. D., Chaitskiy A. A., Schiogolev P. O. Realizing the genetic potential of black-and-white cows of different genotypes by the kappa-casein gene. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):1021-1028. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1021-1028>

Received: 19.07.2023

Accepted for publication: 24.11.2023

Published online: 20.12.2023

Современная пищевая промышленность предъявляет всё более возрастающие требования к качеству молока-сырья по содержанию молочного жира и белка [1, 2]. В связи с этим в отрасли молочного скотоводства значительную актуальность имеют отбор и подбор животных по генетическим маркерам, детерминирующим качественные показатели молочной продуктивности [3, 4]. Одним из наиболее значимых в практическом отношении ДНК-маркеров является ген каппа-казеина (CSN3) [5, 6].

Согласно данным множества исследований, ген CSN3 оказывает существенное влияние на технологические свойства молока, в особенности, на его пригодность к выработке твердых сыров [7, 8]. С этой точки зрения наиболее ценным аллельным вариантом для молочного скота является CSN3^B [9, 10]. Н. Ю. Сафиной и рядом других авторов отмечается, что носительницы генотипа CSN3^{BB} отличаются повышенным удоем и содержанием жира и белка в молоке по сравнению со своими сверстницами [11, 12, 13].

В ряде работ, в том числе в исследовании О. А. Басонова и соавторов, изучалась возможность оценки реализации генетического потенциала молочного скота [14, 15, 16]. Авторы утверждают, что сравнение параметров молочной продуктивности предков с собственной продуктивностью животных позволяет произвести расчет реализации их генетического потенциала. В связи с этим возникает интерес изучения зависимости реализации генетического потенциала коров от их генотипа по гену к-казеина как одного из основных ДНК-маркеров для осуществления маркерной селекции молочного

скота. Немногочисленность подобных данных по отечественным породам определяет актуальность данного исследования.

Цель исследований – изучение уровня реализации генетического потенциала скота черно-пестрой породы с различными генотипами по гену к-казеина.

Научная новизна – разработка нового способа генотипирования крупного рогатого скота по гену CSN3, изучение зависимости реализации генетического потенциала коров черно-пестрой породы от их генотипа по гену к-казеина.

Материал и методы. Объектом исследования служили 104 коровы черно-пестрой породы из ряда племенных хозяйств Костромской области: СПК «Расловское» ($n = 48$) и СПК «Яковлевское» ($n = 56$). Для проведения исследований у животных из хвостовой вены была отобрана цельная периферическая кровь в промаркированные стерильные одноразовые вакуумные пробирки с антикоагулянтom ЭДТА К2. Геномную ДНК получали из цельной периферической крови коров с помощью набора реактивов «ПРОБА-ГС-ГЕНЕТИКА» (Россия). Генотипирование коров по гену к-казеина (rs43703017) проводили методом ПЦР-РВ с использованием амплификатора «DTprime» (Россия). Для амплификации целевых фрагментов CSN3 применяли праймеры, исключающие образование неспецифических ПЦР-продуктов: CSN3_A 5'-GATGGATAAATTAATCTGT-3'; CSN3_G 5'-GATGGATAAATTAACCTGT-3'; CSN3_for 5'-GCAAAATGAATAACAGCCAAG-3'; CSN3_rev 5'-TCTGCAATTTTACTCATTTTG-3'.

Плавнение продуктов амплификации проводили в диапазоне от 70 °С до 90 °С с увеличением температуры на 0,2 °С каждые 10 с. Учет и анализ результатов проводили с помощью ПО RealTime_PCR с применением модуля HRM-анализа.

Все манипуляции на крупном рогатом скоте в рамках исследования проводили в соответствии с международными рекомендациями и российскими нормативно-правовыми документами в отношении гуманного обращения с животными. Данные племенного и зоотехнического учета были получены из ИАС «СЕЛЭКС».

Результаты исследований обрабатывали на ПК с использованием возможностей Microsoft Office Excel 2019 и методов популяционного анализа и биометрии.

Для определения частоты встречаемости генотипов в группах животных использовали следующую формулу:

$$P = \frac{m}{N}, \quad (1)$$

где P – частота генотипа; m – количество особей, имеющих определенный генотип, N – общее число особей.

Частоту аллельных вариантов рассчитывали по формулам:

$$p = \frac{2n_{AA} + n_{AB}}{2N}, \quad (2)$$

$$q = \frac{2n_{BB} + n_{AB}}{2N}, \quad (3)$$

где p – частота аллеля A, q – частота аллеля B, n_{AA} , n_{AB} , n_{BB} – число особей с генотипом AA, AB и BB соответственно, N – общее число особей.

Соблюдение генного равновесия по гену каппа-казеина в стадах хозяйств проверяли с помощью уравнения Харди-Вайнберга:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1, \quad (4)$$

где p и q – частоты аллелей A и B соответственно.

Для оценки реализации генетического потенциала молочной продуктивности коров использовали следующие формулы. Родительский индекс коров (РИК) вычисляли по формуле (Н. А. Кравченко)¹:

$$\text{РИК} = \frac{2M + MM + MO}{4}, \quad (5)$$

где M – продуктивность матери, MM – продуктивность матери матери, MO – продуктивность матери отца.

Степень реализации генетического потенциала (РГП) определяли по формуле:

$$\text{РГП} = \frac{П}{\text{РИК}} \times 100, \quad (6)$$

где П – максимальная продуктивность коровы.

Тестирование статистической значимости разности между группами животных проводили путем расчета t-критерия Стьюдента. Независимость распределения аллелей и генотипов гена каппа-казеина в группах подопытных животных проверяли с помощью теста «хи-квадрат».

Результаты и их обсуждение. В результате генотипирования подопытных коров по гену каппа-казеина было получено следующее распределение генотипов и аллелей у подопытных животных (рис. 1).

Данные рисунка 1 показывают значительное преобладание аллеля CSN^B над CSN^A у коров и генотипа CSN^{BB} над CSN^{AA} и CSN^{AB} в обоих племрепродукторах. Распределение генотипов CSN3 в хозяйствах было следующим: в СПК «Яковлевское» наиболее часто встречались коровы с генотипом CSN^{BB} (61 %), реже – с CSN^{AB} (17,5 %), частота встречаемости генотипа CSN^{AA} составила 21 %. В СПК «Расловское» генотип CSN^{BB} также превалировал над остальными – 58,3 %, частота генотипа CSN^{AB} (22,9 %) была выше, чем AA (18,7 %).

Анализ распределения частот встречаемости генотипов CSN3 с помощью уравнения Харди-Вайнберга выявил в обоих хозяйствах статистически значимое смещение генного равновесия в сторону недостатка гетерозигот: в выборке коров из СПК «Расловское» критерий χ^2 составил 10,00, в СПК «Яковлевское» $\chi^2 = 18,69$ ($P < 0,01$; $P < 0,001$). Это говорит о том, что и в стаде СПК «Расловское», и в СПК «Яковлевское» действуют факторы отбора, дающие преимущество гомозиготным генотипам CSN^{AA} и CSN^{BB} перед гетерозиготным CSN^{AB}.

Анализ молочной продуктивности подопытных животных показал наличие существенных различий между носительницами различных генотипов по гену к-казеина (табл. 1).

В хозяйстве СПК «Расловское» наибольшие удои фиксировались у коров с генотипом CSN^{AB}, наименьшие – у носительниц CSN^{AA}, тогда как животные с генотипом CSN^{BB} занимали промежуточное положение. Наибольшее содержание жира в молоке отмечено у коров с генотипом CSN^{AB}, наибольшая массовая доля белка – у носительниц генотипа CSN^{BB}.

¹Кравченко Н. А. Разведение сельскохозяйственных животных. М., 1963. 212 с.

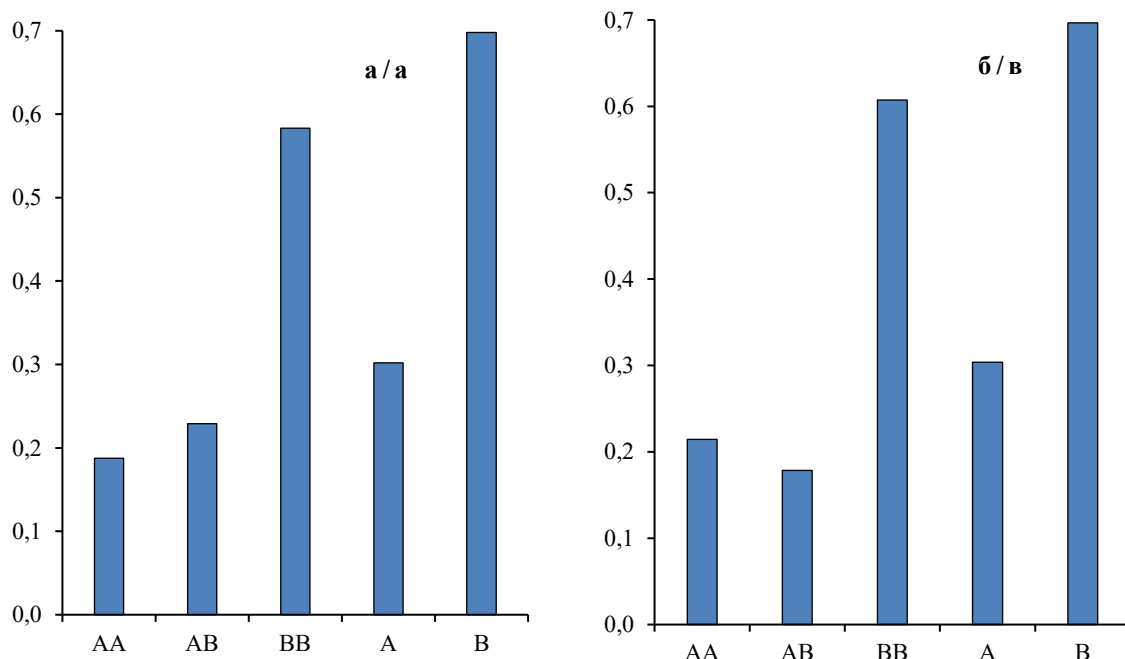


Рис. 1. Частоты встречаемости аллелей и генотипов CSN3 у коров черно-пестрой породы в СПК «Расловское» (а) и СПК «Яковлевское» (б) /

Fig. 1. The frequency of occurrence of CSN3 alleles and genotypes in black-and-white cows in Raslovskoe SPK (a) and Yakovlevskoe SPK (b)

Таблица 1 – Молочная продуктивность коров с различными генотипами по гену CSN3 /

Table 1 – Milk productivity of cows with different CSN3 genotypes

Показатель / Index	Генотип по гену каппа-казеина / Genotype by the kappa-casein gene			Разность между групповыми средними / Difference between group average values		
	AA	AB	BB	AA-AB	AA-BB	AB-BB
СПК «Расловское» / APC "Raslovskoe"						
Удой, кг / Milk yield, kg	7183±263	7764±304	7385±342,9	581	202	379
МДЖ, % / MF, %	4,27±0,16	4,32±0,10	4,29±0,10	0,05	0,03	0,02
МДБ, % / MP, %	3,21±0,06	3,18±0,10	3,23±0,05	0,03	0,02	0,05
СПК «Яковлевское» / APC "Yakovlevskoye"						
Удой, кг / Milk yield, kg	9092±414	9085±344	8889±267,3	7	203	196
МДЖ, % / MF, %	3,87±0,11	4,04±0,15	3,78±0,08	0,17	0,09	0,26
МДБ, % / MP, %	3,09±0,11***	3,20±0,03*	3,24±0,03	0,11	0,15	0,04

Примечания: Статистическая значимость различий указана – в сравнении генотипов AA и BB (*P < 0,05) и AA и AB (**P < 0,01) /

Notes: Statistical significance of differences is indicated – in comparison of genotypes AA and BB (* P < 0.05) and AA and AB (** P < 0.01)

В СПК «Яковлевское» между носителями генотипов CSN3^{AA} и CSN3^{AB} обнаружена статистически значимая разница по массовой доле белка в молоке на уровне 0,11 % (P<0,001). Также значимую разницу наблюдали между коровами генотипов CSN3^{AA} и CSN3^{BB} – на уровне 0,15 % (P<0,05). При этом наибольшим удоем отличались животные с генотипом CSN3^{AA}, содержанием жира в молоке – CSN3^{AB}.

Родительский индекс коров демонстрирует потенциал продуктивности животных и рассчитывается по максимальным величинам параметров продуктивности их предков (М, ММ, МО). В ходе исследования нами были рассчитаны РИК по основным показателям молочной продуктивности для коров с различными генотипами по гену к-казеина (табл. 2).

Анализ данных таблицы 2 показал, что в СПК «Расловское» наивысшим РИК по удою

и содержанию белка в молоке отличались коровы с генотипом CSN3^{BB}, высоким содержа-

нием жира в молоке – гетерозиготные коровы (CSN3^{AB}).

Таблица 2 – Родительский индекс коров с различными генотипами CSN3 по показателям молочной продуктивности /

Table 2 – The parental index of cows with different CSN3 genotypes by milk productivity data

Показатель / Index	Генотип по гену каппа-казеина / Genotype by the kappa-casein gene			Разность между групповыми средними / Difference between group average values		
	AA	AB	BB	AA-AB	AA-BB	AB-BB
СПК «Расловское» / APC "Raslovskoe"						
Удой, кг / Milk yield, kg	6525±504	7107±229	7555±143	582	1030	448
МДЖ, % / MF, %	3,98±0,13	4,03±0,11	4,00±0,09	0,05	0,02	0,03
МДБ, % / MP, %	3,23±0,06	3,23±0,03	3,26±0,02	0	0,02	0,02
СПК «Яковлевское» / APC "Yakovlevskoye"						
Удой, кг / Milk yield, kg	9314±315	9021±247	9211±285	293	103	190
МДЖ, % / MF, %	4,38±0,09	4,39±0,11	4,30±0,04	0,01	0,08	0,09
МДБ, % / MP, %	3,21±0,03	3,23±0,05	3,27±0,05	0,02	0,05	0,03

В СПК «Яковлевское» высокие удои молока получены у носительниц гомозиготного генотипа CSN3^{AA}, коровы с генотипом CSN3^{BB} имели наибольшее содержание белка в молоке. Статистически значимой разницы между различными генотипами CSN3 при этом не установлено.

Расчет РИК и средних показателей собственной продуктивности коров с различными генотипами CSN3 позволил установить степень реализации их генетического потенциала (РГП) (табл. 3).

Таблица 3 – Степень реализации генетического потенциала коров с разными генотипами CSN3 /

Table 3 – The extent of realization of genetic potential of cows with different CSN3 genotypes

Показатель / Index	СПК «Расловское» / APC "Raslovskoe"			СПК «Яковлевское» / APC "Yakovlevskoye"		
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
Удой, кг / Milk yield, kg	119,5±14	106,9±5,6	99,7±3,9	100,8±4,25	99,7±7,08	106,1±4,93
МДЖ, % / MF, %	104±5,38	105,5±4,5	112,3±3,8	93,5±3,04	100,9±3,56	93,6±4,99
МДБ, % / MP, %	101,6±2,95	100,1±2,13	103,6±0,70	97,9±2,29	101,1±2,15	103,9±1,33

В СПК «Расловское» высоким уровнем РГП по удою обладали животные с генотипом CSN3^{AA}, по содержанию жира и белка – коровы с CSN3^{BB}. В стаде СПК «Яковлевское» наиболее полной реализацией генетического потенциала по удою и массовой доле белка в молоке отличались коровы с генотипом CSN3^{BB}, по массовой доле жира сравнительно высокий РГП регистрировали у носительниц генотипа CSN3^{AB}.

Выводы. Таким образом, в изученных группах коров черно-пестрой породы наблюдается численное доминирование желательного генотипа CSN3^{BB} (59,6 % животных) над другими. При этом в одной из изучаемых групп коров зафиксирована статистически значимая

разница ($P < 0,05$ и $P < 0,001$) по массовой доле белка в молоке между коровами с генотипом CSN3^{AA} и их сверстницами с CSN3^{AB} и CSN3^{BB}. Похожие тенденции наблюдали при анализе продуктивности предков и реализации генетического потенциала по массовой доле белка в молоке – наиболее полно свой потенциал по данному показателю раскрывали носительницы генотипа CSN3^{BB}. Полученные результаты исследования имеют большое практическое значение для проведения селекционно-племенной работы с черно-пестрой породой крупного рогатого скота, направленной на улучшение сыропригодности молока.

Список литературы

1. Шайдуллин Р. Р., Шарафутдинов Г. С., Москвичева А. Б. Белкомомолочность в течение лактации у первотелок с разными генотипами CSN3 и DGAT1. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(5):55-58. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10513> EDN: LTZRGC
2. Шевцова А. А., Климов Е. А., Ковальчук С. Н. Обзор вариабельности генов, связанных с молочной продуктивностью крупного рогатого скота. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018;(11-1):194-200. DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.12475> EDN: YOWPLF
3. Михайлова И. Ю., Лазарева Е. Г., Бигаева А. В., Гильманов Х. Х., Тюлькин С. В. Влияние генетических факторов на продуктивность коров и качество молока. Пищевая промышленность. 2021;(1):36-40.
4. Уливанова Г. В., Глотова Г. Н., Федосова О. А., Рыданова Е. А. Анализ использования генотипирования по полиморфным системам групп крови и белкам молока в племенном и промышленном скотоводстве. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020;1(45):63-69. DOI: <https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.45.1.011> EDN: EYWISY
5. Снигирев С. О., Ламонов С. А., Скоркина И. А., Гладырь Е. А. Молочная продуктивность коров разных генотипических групп чёрно-пёстрого скота в зависимости от полиморфизма гена каппа-казеина. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023;(1(72));94-97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50421001> EDN: NOYXCZ
6. Долматова И. Ю., Валитов Ф. Р., Парамонова М. А., Абдрахманова В. Р., Мухаметзянова А. А. Влияние полиморфизма генов молочных белков коров черно-пестрой породы на качественный состав молока. Российский электронный научный журнал. 2019;(4(34));10-18. DOI: <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2019-34-4-10-18> EDN: OEATDL
7. Волохов И. М., Калашникова Л. А., Евдокимова А. С., Пашенко О. В. Взаимосвязь качества твердых сыров с генотипом животных по каппа-казеину. Сыроделие и маслоделие. 2012;(4):31-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17879152> EDN: PBGMMX
8. Чаицкий А. А., Лемякин А. Д., Тяжченко А. Н., Сабетова К. Д., Щеголев П. О., Белокуров С. Г., Кофиади И. А., Смирнова А. В. Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров. Вестник АПК Верхневолжья. 2022;(2(58)):33-43. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005> EDN: AKGIDT
9. Ünal H., Kopuzlu S. The relationships between κ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle. Archives Animal Breeding. 2022;65(1):129-134. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-65-129-2022>
10. Cieslak J., Wodas L., Borowska A., Pawlak P., Czyzak-Runowska G., Wojtowski J., Kamila P., Kuczynska B., Mackowski M. 5'-flanking variants of equine casein genes (CSN1S1, CSN1S2, CSN2, CSN3) and their relationship with gene expression and milk composition. Journal of Applied Genetics. 2019;(60):71-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-018-0473-2>
11. Mahmoudi P., Rostamzadeh J., Rashidi A., Zergani E., Razmkabir M. A meta-analysis on association between CSN3 gene variants and milk yield and composition in cattle. Animal Genetics. 2020;51(3):369-381. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12922>
12. Сафина Н. Ю., Гайнутдинова Э. Р., Шакиров Ш. К. Молочная продуктивность голштинского скота с разными генотипами гена каппа-казеин (CSN3). Аграрный научный журнал. 2021;(10):93-97. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp93-97> EDN: EJAYVM
13. Щеголев П. О., Лемякин А. Д., Чаицкий А. А., Сабетова К. Д., Кофиади И. А., Белокуров С. Г. Полиморфизм гена каппа-казеина в популяциях молочного скота Костромской области и его влияние на молочную продуктивность коров. Аграрная наука. 2022;(10):77-85. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85> EDN: ESDYDG
14. Басонов О. А., Абдулхаликов Р. З., Тарчоков Т. Т., Кулаткова А. С. Влияние продуктивного потенциала женских предков, способов содержания и технологий доения на показатели молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023;1(39):92-100. DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2023-1-39-92-100> EDN: COQTUV
15. Чаицкий А. А., Баранова Н. С. Оценка уровня реализации биологического потенциала у крупного рогатого скота костромской породы с различными аллельными вариантами гена каппа-казеина. Вестник АПК Верхневолжья. 2021;(4(56));33-37. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.56.4.006> EDN: NSHZWV
16. Сибатуллин Ф. С., Шайдуллин Р. Р., Шарафутдинов Г. С., Фаизов Т. Х., Зарипов Ф. Р., Шакиров Ш. К. Сравнительная характеристика быков-производителей с разными ДНК-маркерами по молочной продуктивности женских предков. Ветеринарный врач. 2017;(1):52-59.

References

1. Shaydullin R. R., Sharafutdinov G. S., Moskvicheva A. B. Protein content in the milk of first calf heifers of different *csn3* and *dgat1* genotypes during lactation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(5):55-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10513>
2. Shevtsova A. A., Klimov E. A., Kovalchuk S. N. Review of genes variability associated with milk productivity of dairy cattle. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied And Fundamental Research. 2018;(11-1):194-200. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/mjpf.12475>
3. Mikhaylova I. Yu., Lazareva E. G., Bigaeva A. V., Gilmanov Kh. Kh., Tyulkin S. V. Influence of genetic factors on cow productivity and milk quality. *Pishcheyaya promyshlennost'* = Food Industry. 2021;(1):36-40. (In Russ.).
4. Ulianova G. V., Glotova G. N., Fedosova O. A., Rydanova E. A. Analysis of the use of genotyping by polymorphic systems of blood groups and milk proteins in breeding and industrial cattle breeding. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* = Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev. 2020;1(45):63-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.45.1.011>
5. Snigirev S. O., Lamonov S. A., Skorkina I. A., Gladys' E. A. Milk productivity of cows of different genotypic groups of black-and-white cattle depending on the polymorphism of the kappa-casein gene. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(1(72)):94-97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50421001>
6. Dolmatova I. Yu., Valitov F. R., Paramonova M. A., Abdrakhmanova V. R., Mukhametzyanova A. A. Influence of genetic polymorphism of milk proteins to the qualitative composition of milk in animals of black-motley breed. *Rossiyskiy elektronnyy nauchnyy zhurnal* = Russian electronic scientific journal. 2019;(4(34)):10-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2019-34-4-10-18>
7. Volokhov I. M., Kalashnikova L. A., Evdokimova A. S., Pashchenko O. V. Relation of hard cheese quality with animals genotypes according to kappa-casein. *Syrodelie i maslodelie* = Cheese-making and oil-making. 2012;(4):31-33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17879152>
8. Chaitskiy A. A., Lemyakin A. D., Tyazhchenko A. N., Sabetova K. D., Shchegolev P. O., Belokurov S. G., Kofiadi I. A., Smirnova A. V. Influence of genotypes of kappa-casein gene on cheese properties of cow's milk. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2022;(2(58)):33-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.58.2.005>
9. Ünal H., Kopuzlu S. The relationships between κ -casein (CSN3) gene polymorphism and some performance traits in Simmental cattle. *Archives Animal Breeding*. 2022;65(1):129-134. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-65-129-2022>
10. Cieslak J., Wodas L., Borowska A., Pawlak P., Czyzak-Runowska G., Wojtowski J., Kamila P., Kuczynska B., Mackowski M. 5'-flanking variants of equine casein genes (CSN1S1, CSN1S2, CSN2, CSN3) and their relationship with gene expression and milk composition. *Journal of Applied Genetics*. 2019;(60):71-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-018-0473-2>
11. Mahmoudi P., Rostamzadeh J., Rashidi A., Zergani E., Razmkabir M. A meta-analysis on association between CSN3 gene variants and milk yield and composition in cattle. *Animal Genetics*. 2020;51(3):369-381. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12922>
12. Safina N. Yu., Gaynutdinova E. R., Shakirov Sh. K. Dairy productivity of holstein cattle with different genotypes of the kappa-casein gene (CSN3). *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2021;(10):93-97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp93-97>
13. Shchegolev P. O., Lemyakin A. D., Chaitskiy A. A., Sabetova K. D., Kofiadi I. A., Belokurov S. G. Polymorphism of the kappa-casein gene in dairy cattle populations of the Kostroma region and its effect on dairy productivity of cows. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2022;(10):77-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-77-85>
14. Basonov O. A., Abdulkhalikov R. Z., Tarchokov T. T., Kulatkova A. S. The influence of the productive potential of female ancestors, methods of keeping and milking technologies on the indicators of milk productivity of first-calf heifers of the holstein breed. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova* = Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2023;1(39):92-100. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2023-1-39-92-100>
15. Chaitskiy A. A., Baranova N. S. Assessment of the biological potential realization level in cattle of the kostroma breed with different allelic variants of the kappa-casein gene. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2021;(4(56)):33-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.56.4.006>
16. Sibagatullin F. S., Shaydullin R. R., Sharafutdinov G. S., Faizov T. Kh., Zaripov F. R., Shakirov Sh. K. The comparative characteristics of production bulls with various DNA-markers on dairy efficiency of female ancestors. *Veterinarnyy vrach*. 2017;(1):52-59. (In Russ.).

Сведения об авторах

Лемякин Александр Дмитриевич, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Баданина Лада Сергеевна, магистрант 1-го года обучения направления 36.04.02 Зоотехния, профиль «Технология производства продуктов животноводства», ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

✉ **Сабетова Ксения Дмитриевна**, кандидат вет. наук, зав. лабораторией генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>, e-mail: kseniyasabetova@mail.ru

Чайцкий Алексей Александрович, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, д. 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Щеголев Павел Олегович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Information about the authors

Alexander D. Lemyakin, breeder-zootechnician of the regional information and breeding center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Lada S. Badanina, Master's student of the 1st year of study, 36.04.02 Zootechnics, profile "Technology of production of livestock products", Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1286-3714>

✉ **Ksenia D. Sabetova**, PhD in Veterinary sciences, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>, e-mail: kseniyasabetova@mail.ru

Alexey A. Chaitskiy, breeder-livestock specialist of the regional information and breeding center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Pavel O. Schiogolev, PhD in Agricultural sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center of the Kostroma State Agricultural Academy, 34, Karavaevo Campus, Kostroma, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Низкотемпературное воздействие в раннем эмбриогенезе как метод повышения общей резистентности организма цыплят к инфекционным заболеваниям

© 2023. Е. С. Федорова✉, О. И. Станишевская

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

Статья посвящена проблеме повышения общей резистентности цыплят к инфекционным заболеваниям в первые 3 недели жизни технологическими методами. В качестве фактора воздействия предложено дозированное низкотемпературное воздействие на эмбрион в чувствительный период раннего эмбриогенеза; в качестве тестового вируса при экспериментальном заражении эмбрионов использован вирус гриппа. Установлено, что у эмбрионов, подвергшихся охлаждению, титр вируса был достоверно ниже в 1,5-12,0 раз ($P < 0,001$) по сравнению с контролем, что свидетельствует о снижении репликативной активности вирусных штаммов у эмбрионов данной группы. В куриных эмбрионах русской белоснежной породы с охлаждением наблюдали снижение инфекционной активности вируса гриппа А на 11,5 %, вируса инфекционного бронхита кур – на 3,6-6,9 % в зависимости от породной принадлежности эмбрионов. Уровень общей резистентности организма цыплят опытной группы к заболеваниям бактериальной этиологии отмечен выше, о чем свидетельствует более высокая сохранность молодняка в первые 3 недели жизни (на 1,0 % выше, чем в контроле) и более высокий индекс бursы у 12-суточных цыплят (на 8,5-9,0 % выше, чем в контроле). Выводимость яиц опытной группы была на 4,5 % выше, чем в контроле. Полученные эффекты, как результат гипотермического воздействия в данный чувствительный период эмбриогенеза, могут быть объяснены индуцированием выработки эмбрионом стрессовых белков теплового и холодового шока, которые, в свою очередь, активируют врожденные противовирусные реакции, обусловленные главным комплексом гистосовместимости. Однако данный вопрос требует дополнительного изучения с привлечением методов молекулярной генетики, поскольку предполагаемые механизмы, обуславливающие повышение иммунобиологического статуса эмбрионов в ответ на низкотемпературное воздействие, нуждаются в подтверждении.

Ключевые слова: куриный эмбрион, инфекционная активность, вирус гриппа, вирус инфекционного бронхита кур, главный комплекс гистосовместимости, белки теплового шока

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № 121052600357-8).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Федорова Е. С., Станишевская О. И. Низкотемпературное воздействие в раннем эмбриогенезе как метод повышения общей резистентности организма цыплят к инфекционным заболеваниям. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1029-1037. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1029-1037>

Поступила: 30.06.2023

Принята к публикации: 30.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Low-temperature exposure in early embryogenesis as a way of increasing the resistance of chicks to infectious diseases

© 2023. Elena S. Fedorova✉, Olga I. Stanishevskaya

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

The article is devoted to the problem of increasing the resistance of chicks from hatching to the age of 3 weeks to infectious diseases by technological methods. Dosed low-temperature exposure to the embryo during the sensitive period of early embryogenesis was proposed as an impact factor; influenza vaccine virus was used as a test virus for experimental infection of embryos. It was found that in the embryos after cooling, the titer of the virus was significantly lower by 1.5-12.0 times ($p < 0.001$) compared with the control. This fact indicates a decrease in the replicative activity of viral strains in embryos of this group. In chicken embryos of Russian Snow-White breed after cooling, there was a decrease in the infectious activity of the influenza A virus by 11.5 %, as well as a decrease in the infectious activity of the infectious bronchitis virus by 3.6-6.9 %, depending on the breed of the embryos. The level of chick resistance in the experimental group to diseases of bacterial etiology was also higher, as evidenced by the higher safety of 3-week-old chicks (0.8-1.1 % higher than in the control) and a higher bursa index in 12-day-old chicks (8.5-9.0 % higher than in the control). The hatchability of eggs of the experimental group was also 4.5 % higher than in the control. The effects obtained as a result of hypothermic exposure during this sensitive period of embryogenesis can be explained by inducing the production of heat and cold shock proteins by the embryo,

which, in turn, activate innate antiviral reactions caused by major histocompatibility complex. However, this issue requires additional study with the involvement of molecular genetics methods, since the supposed mechanisms that cause an increase in resistance in response to low-temperature exposure in early ontogenesis need to be confirmed.

Keywords: chicken embryo, infectious activity, influenza virus, infectious bronchitis virus of chicken, major histocompatibility complex, heat shock proteins

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (theme No. 121052600357-8).

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

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

Для цитирования: Fedorova E. S., Stanishevskaya O. I. Low-temperature exposure in early embryogenesis as a way of increasing the resistance of chicks to infectious diseases. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):1029-1037. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1029-1037>

Received: 30.06.2023

Accepted for publication: 30.11.2023

Published online: 20.12.2023

Птицеводство является одним из наиболее динамично развивающихся секторов животноводства, однако глобализация данной отрасли, технология содержания птицы в разы увеличивают риски, связанные с распространением опасных высоковирулентных патогенов. Инфекционные болезни птиц – один из основных сдерживающих факторов развития птицеводства. Для борьбы с ними применяются вакцинация, антибиотики и комплекс санитарно-ветеринарных мероприятий, направленных на предотвращение возникновения и распространения заболеваний. Дополнительным методом усиления профилактических мер может служить генетическая устойчивость птицы к инфекционным болезням, приобретенная путем селекции (как классической, так и на основе молекулярно-генетических данных) и генетической модификации.

Традиционными селекционными методами еще в середине XX века были созданы популяции кур, устойчивых к различным инфекционным заболеваниям (болезнь Марек, лейкоз и т.д.). Тем не менее, селекция на устойчивость к болезням может быть затруднена из-за необходимости специальных помещений для контрольных испытаний, потенциальной терминальной природы этих признаков, заботы о благополучии животных, отрицательной связи между резистентностью птицы к заболеваниям и ее продуктивностью, проблем биобезопасности и высокой стоимости проведения данных мероприятий [1].

Более эффективному получению желаемых генотипов в настоящее время способствуют технологии редактирования генома [2, 3]. Для этого используются передовые технологии, такие как система CRISPR/Cas9 [4, 5], полногеномное секвенирование, секвенирование РНК и генотипирование однонуклеотидного полиморфизма высокой плотности (SNP). Однако

эти методы требуют больших финансово-экономических затрат и высокой квалификации задействованных специалистов, кроме того, открытым остается вопрос о трансгенеративной передаче отредактированных признаков [6].

Наряду с повышением генетической устойчивости птицы к инфекционным заболеваниям в сочетании с разработкой эффективных вакцин и профилактических стратегий, необходимо разрабатывать новые подходы к индукции врожденных противовирусных ответов организма птиц, начиная с периода раннего онтогенеза. Врожденные реакции цыплят играют ключевую роль в контроле вирусных инфекций [7]. Иммунный ответ эмбриона на патоген на ранних стадиях эмбрионального развития в значительной степени обусловлен главным комплексом гистосовместимости (ГКГ) [8]. ГКГ – это часть иммунной системы, представляющая собой эпитопы внутриклеточных антигенов на клеточной поверхности. Продукты генов ГКГ I класса присутствуют на поверхности всех ядросодержащих клеток и определяют специфичность организма, играют важную роль в гуморальной регуляции, вовлечены в процессы дифференцировки при эмбриональном развитии. Устойчивость кур к болезням является полигенным признаком, который включает различные гены, обеспечивающие устойчивость к патогенам. ГКГ связан с презентацией антигена, продукцией антител и стимуляцией цитокинов, что подчеркивает его роль в устойчивости к болезням. Во время развития инфекции организм хозяина индуцирует изменения в экспрессии генов, которые обеспечивают временную или длительную защиту от патогенов. Существует ряд вирусных заболеваний (болезнь Нью-Касла, болезнь Марек, саркома Рауса), резистентность и восприимчивость к которым определяются конкретными гаплотипами ГКГ кур [9].

Иммунный ответ организма на патоген и различные стресс-факторы также связан с белками теплового шока (БТШ), которые играют важную роль в качестве «эндогенных сигналов опасности» в системе иммунного надзора. БТШ проявляют иммуномодулирующее действие как на врожденный, так и на адаптивный иммунный ответ [10, 11]. Синтез БТШ является универсальным неспецифическим ответом клетки на стресс, включая термический, и, по современным данным, нет такого вида клеточного стресса, при котором не происходило бы синтеза БТШ. Так, гипотермическое воздействие у цыплят вызывает окислительный стресс и влияет на иммунную функцию, провоцируя повышение уровня цитокинов. Более высокая экспрессия БТШ (Hsp90, Hsp70, Hsp60, Hsp40 и Hsp27) может играть роль в защите иммунных органов от холодового стресса [12].

Манипулирование взаимодействиями БТШ патогена и хозяина представляет собой потенциальный путь к улучшению контроля над инфекцией.

Цель исследований – изучить влияние гипотермического стресса в раннем эмбриогенезе кур как метода воздействия, позволяющего повысить иммунобиологический статус эмбрионов кур к инфекционным заболеваниям в раннем онтогенезе на примере вируса гриппа, а также вируса инфекционного бронхита кур.

Эпизоотическая ситуация по высокопатогенному гриппу птиц остается крайне напряженной, и распространение данного заболевания уже приобрело масштабы панзоотии. В России вакцинация промышленного поголовья против вируса гриппа птиц не предусмотрена действующими ветеринарными правилами (Приказ Минсельхоза РФ от 27.03.2006 N 90 «Об утверждении правил по борьбе с гриппом птиц»). Основой борьбы с гриппом в российском промышленном птицеводстве в настоящее время являются профилактические ветеринарно-санитарные мероприятия. Инфекционный бронхит кур – заболевание вирусной этиологии, которое наносит значительный экономический ущерб птицеводству. Заболевание сопровождается поражением респираторной системы и репродуктивных органов кур. Высокая инфекционность и генетическая изменчивость вируса делает инфекционный бронхит кур одним из самых широко распространенных заболеваний в птицеводстве. Основными мерами борьбы с данным заболеванием, помимо вакцинации, является специфическая профилактика.

Научная новизна – впервые получены экспериментальные данные, характеризующие влияние низкотемпературного воздействия в чувствительный период раннего эмбриогенеза кур на снижение инфекционной активности вирусов гриппа и инфекционного бронхита.

Материал и методы. Исследования по разработке метода повышения иммунобиологического статуса эмбрионов кур технологическими методами проводили на птице породы русская белоснежная (специализированной для целей биопромышленности – производства эмбриональных вирусных вакцин), разводимой в ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных (ВНИИГРЖ). Птица содержалась в индивидуальных клетках при искусственном осеменении и принятой в хозяйстве технологии кормления и содержания.

Опыт I. Объект исследований – куры в возрасте 37 недель жизни породы русская белоснежная (специализированная для получения эмбриональных вирусных вакцин) (рис. 1). В качестве тестового вируса был выбран вирус гриппа типов А и В. Экспериментальное заражение, а также определение репродуктивной активности вирусов гриппа проводили в ФГБУ «НИИ гриппа им. А. А. Смородинцева» Минздрава России (Санкт-Петербург), которое включало в себя исследование инфекционной активности вирусов гриппа в 10-кратных разведениях в системе развивающихся куриных эмбрионов, определение общего титра вируса в реакции гемагглютинации (РГА). В исследованиях использовали штаммы вирусов гриппа А (A/Swine/Hongkong/2/6/2020 (H1N1) (RA-55); A/Swine (H1N2)-RII-41-2/2019; A/California/7/09 (H1N1), A/Aichi (H3N2)) и В (B/Phuket/3073/13; B/Washington/02/2019).

Сформированы 2 группы эмбрионов по принципу групп-аналогов по происхождению по матерям. Эмбрионов контрольной группы инкубировали при общепринятом режиме инкубации (37,5 °С – с 1 по 17 сутки, 37,2 °С – с 18 суток инкубации), а эмбрионов опытной группы в чувствительный период развития (на 5,5 сутки инкубации) подвергли охлаждению в течение 6 часов при температуре 16 °С. Выбор возраста воздействия на эмбрионы был обусловлен результатами наших предыдущих исследований [13].

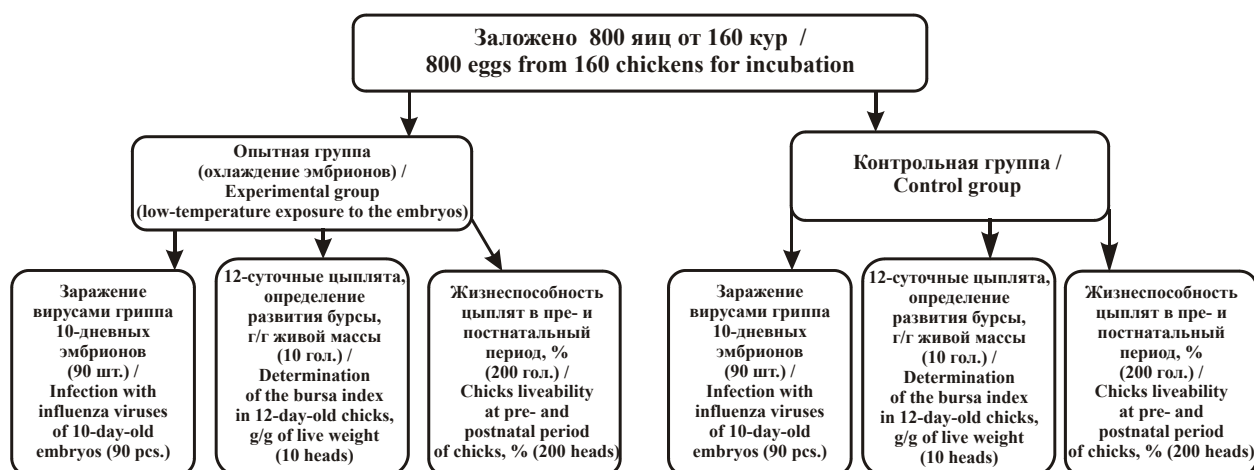


Рис. 1. Опыт 1. Схема исследований / Pic. 1. Research scheme 1

Определение инфекционной активности вируса гриппа проводили на развивающихся куриных эмбрионах 10-12-дневного возраста. Подготовленные 10-кратные разведения вируса вводили в аллантоисную полость эмбриона по 0,2 см³. Эмбрионы инкубировали 48 часов при 34 °С (для вируса гриппа А) и 72 часа при 32 °С (для вируса гриппа В). По окончании срока инкубации собирали вирусосодержащую аллантоисную жидкость отдельно для каждого эмбриона. Титр вируса определяли в реакции гемагглютинации (РГА). За титр вируса принимали наибольшее разведение, в котором наблюдается агглютинация эритроцитов.

Опыт 2. Для верификации результатов, полученных в опыте I, проводили заражение куриных эмбрионов вирусом инфекционного бронхита кур (ИБК) (рис. 2). Объектом исследований являлись куры трех пород различного направления продуктивности в возрасте 42 недель жизни; породы: русская белоснежная (специализированная для получения эмбриональных вирусных вакцин); итальянская куропатчатая (яичное направление продуктивности); царскосельская (комбинированное направление продуктивности).

Сформированы 2 группы эмбрионов по принципу групп-аналогов по происхождению по матерям. Эмбрионов контрольной группы инкубировали при общепринятом режиме инкубации (37,5 °С – с 1 по 17 сутки, 37,2 °С – с 18 суток инкубации), а эмбрионов опытной группы в чувствительный период развития (на 5,5 сутки инкубации) подвергли охлаждению

в течение 6 часов при температуре 16 °С. Экспериментальное заражение, а также определение биологической активности вируса ИБК проводили во «Всероссийском научно-исследовательском ветеринарном институте птицеводства» – филиале ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук (ВНИВИП).

Для определения биологической активности вируса ИБК шт.4/91 использовали метод титрования вирусосодержащей жидкости на 9-дневных эмбрионах кур. Для проведения исследований готовили 10-кратные разведения с 10⁻¹ до 10⁻⁸. Каждым разведением заражали эмбрионы в аллантоисную полость (по 5 эмбрионов на каждое разведение, по 40 – на каждую опытную группу) в объеме 0,2 см³. Незараженные эмбрионы оставляли в качестве контроля. Эмбрионы инкубировали в течение 7 суток при температуре 37 °С и относительной влажности 60-70 %. Ежедневно проводили овоскопию эмбрионов. Гибель эмбрионов в первые 24 часа после заражения считали неспецифической, в последующие дни относили на счет действия вируса ИБК. Через 7 суток инкубации эмбрионы охлаждали в течение 18 часов при температуре 4-6 °С, затем вскрывали и учитывали изменения, характерные для воздействия вируса ИБК (отставание в росте, скручивание в шар, карликовость). Титр вируса определяли по методу Кербера в модификации И. П. Ашмарина¹.

¹Ашмарин И. П., Воробьев А. А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Медгиз, 1962. 180 с

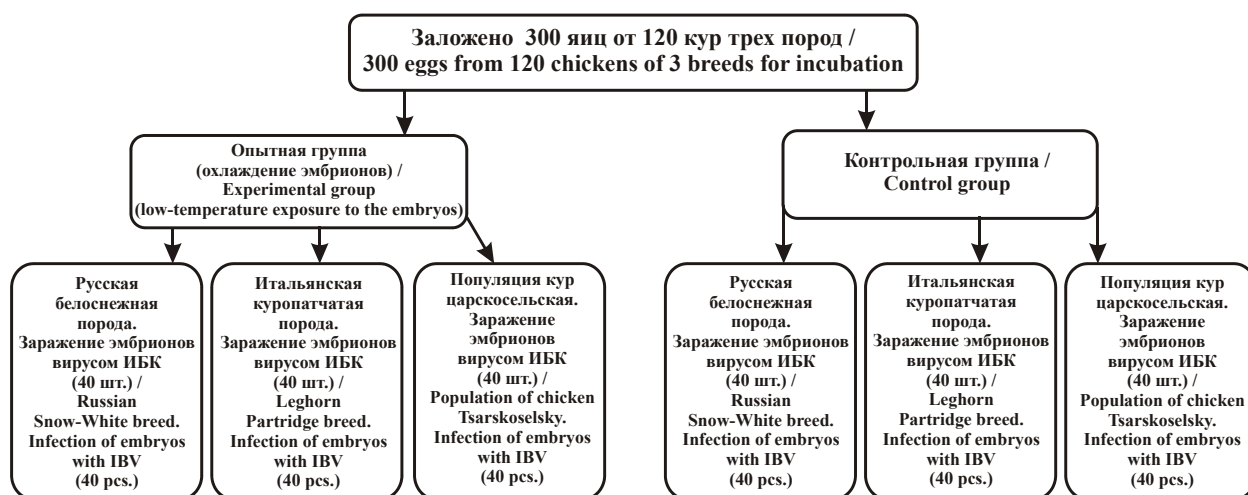


Рис 2. Опыт 2. Схема исследований / Pic. 2. Research scheme 2

С целью верификации полученных данных в производственных условиях, в племенной сезон в ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ было проведено охлаждение эмбрионов (опытная группа) по разработанной схеме; полученные цыплята были поставлены на выращивание. В возрасте 12 суток по 10 голов из каждой группы (со средними показателями живой массы по группе) были вскрыты для определения индекса бурсы. Эксперимент проведен в двух повторностях.

Статистическую обработку данных проводили методами оценки критерия достоверности различия средних выборочных (t-критерий Стьюдента) по А. А. Минько² с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Согласно нашим исследованиям, охлаждение куриных эмбрионов на 5,5 сутки инкубации приводит к значимому проявлению действия адаптации

онного механизма на разных стадиях онтогенеза. У 12,5-суточных эмбрионов наблюдали увеличение объема аллантоисно-амниотической жидкости (на 6,7-8,2 %) [13]. Выводимость яиц, подвергшихся холодовому воздействию, увеличилась на 4,5 % в сравнении с контролем (85,8 % против 81,3 %). Также установлено, что относительная масса органа гуморального иммунитета – бурсы (г/г живой массы) – у 12-суточных цыплят русской белоснежной породы, подвергшихся охлаждению на 5,5 сутки эмбрионального развития, на 8,5-9,0 % выше, чем у цыплят контрольной группы (табл. 1). По результатам выращивания племенных цыплят – сибсов эмбрионов, установлено, что сохранность молодняка в первые 3 недели жизни у цыплят опытной группы была на 1,0 % выше, чем в контроле, что, видимо, свидетельствует о более высоком уровне их общей резистентности к заболеваниям, которые могут быть вызваны транзиторной микрофлорой.

Таблица 1 – Показатели выводимости яиц и выращивания цыплят породы русская белоснежная в ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ /

Table 1 – Indicators of egg hatchability and rearing of Russian Snow-White chicks in the Centre of collective usage "Genetic collection of rare and endangered chicken breeds" RRIFAGB

Показатель / Parameter	Вывод I / Hatch I	Вывод II / Hatch II
Выводимость, % / Hatchability, %: - контроль / control - опыт / experimental	81,3 85,8 (+5,2 %)	86,7 90,3 (+4,0 %)
Число цыплят, гол. / Number of chicks, heads: - контроль / control - опыт / experimental	197 195	200 190
Сохранность цыплят за 3 недели жизни, % / Livability for 3 weeks, %: - контроль / control - опыт / experimental	93,8 95,1 (+1,3 %)	94,4 95,4 (+1,0 %)
Индекс бурсы у 12-суточных цыплят, % / Bursa index of 12-day-old chicks, %: - контроль / control, n = 10 - опыт / experimental, n = 10	0,40±0,03 0,45±0,04	0,42±0,03 0,46±0,02

²Минько А. А. Статистический анализ в MS Excel. М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. 448 с.

В результате вирусологических исследований по оценке продуктивности вирусов гриппа в куриных эмбрионах получены данные, согласно которым у 12-суточных эмбрионов опытной группы титр вируса был достоверно ниже в 1,5-12,0 раз по сравнению с контролем, что свидетельствует о снижении репликативной активности вирусных штаммов в эмбрионах, подвергшихся охлаждению в 5,5-суточном возрасте (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение репликативной активности вирусов гриппа в эмбрионах русской белоснежной породы контрольной и опытной групп в РГА /

Table 2 – Comparison of the replicative activity of influenza viruses in the embryos of the Russian Snow-White breed of the control and experimental groups in the hemagglutination reaction (HAR)

Штамм вируса / Virus strain	Количество эмбрионов в каждой группе, шт. / Embryos per group, pcs.	Среднее значение титра в РГА / The average value of the titer in HAR	
		контрольная группа / control	опытная группа / experimental
A/Swine/Hongkong (H1N2)	10	213 ^a ±26	107 ^b ±13
A/Swine (H1N2)	10	768 ^a ±107	64 ^c ±13
A/California (H1N1)	10	50 ^a ±13	16 ^d ±2
A/Aichi (H3N2)	10	218 ^a ±13	141 ^d ±13
B/Phuket	10	192 ^a ±13	122 ^d ±20
B/Washington	10	683 ^a ±107	171 ^d ±107

Примечания: Различия статистически достоверны при: ab P<0,01, ac P<0,001, ad P<0,05 /

Notes: The differences are statistically significant: ab at p < 0.01; ac at p < 0.001; ad at p < 0.05

Таблица 3 – Исследование инфекционной активности в куриных эмбрионах вируса гриппа A/Swine (H1N2) RII-41-2/2019 /

Table 3 – Infectious activity in chicken embryos of influenza A/Swine (H1N2) virus RII-41-2/2019

Показатель / Parameter	Среднее значение титра в РГА / The average value of the titer in HAR	
	контрольная группа / control, n = 30	опытная группа / experimental, n = 30
Среднее значение титра в РГА / The average value of the titer in HAR	164 ^a ±24	38 ^b ±12
Инфекционная активность в lgЭИД ₅₀ /см ³ / Infectious activity in lgEID ₅₀ /cm ³	10,2	9,03

Примечание: Различия статистически достоверны при: ab P<0,001 /

Notes: The differences are statistically significant: ab at p < 0.001

Как видно на рисунке 3, у эмбрионов опытной группы титр вируса гриппа А в РГА, начиная с разведения 10⁻⁵, стремительно падает в отличие от эмбрионов контрольной группы, у которых он, наоборот, максимален в разведении 10⁻³, минимален – в разведении 10⁻⁶, а затем снова начинает увеличиваться. При этом максимальные показатели титра вируса в РГА у 12-суточных эмбрионов опытной группы сопоставимы с минимальными показателями эмбрионов контрольной, а разница между значениями титров обеих групп в аналогичных

При исследовании репликативной активности вируса гриппа A/Swine(H1N2) RII-41-2/2019 показано статистически значимое снижение общего титра вируса в РГА в эмбрионах с охлаждением (в 4,3 раза по сравнению с эмбрионами контрольной группы). Также в куриных эмбрионах с охлаждением наблюдалось снижение инфекционной активности вируса гриппа А на 11,5 % (табл. 3).

разведения составляет в среднем 2-3 раза (до 8 раз в разведении 10⁻⁸).

По результатам исследований можно утверждать, что дозированное низкотемпературное воздействие в чувствительный период раннего эмбриогенеза позволяет индуцировать врожденные противовирусные реакции, о чем свидетельствует пониженная репликативная и инфекционная активность штаммов вируса гриппа при экспериментальном заражении таких эмбрионов, в сравнении с эмбрионами контрольной группы.

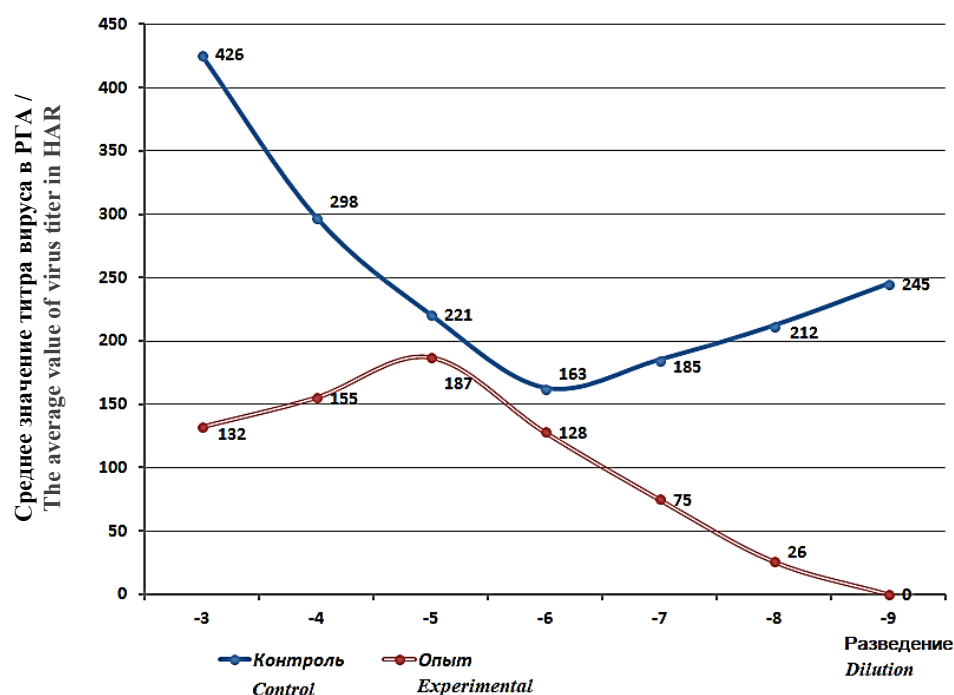


Рис. 3. Инфекционная активность вируса гриппа A/Swine(H1N1) RII-41-2/2019 в различных разведениях в эмбрионах кур русской белоснежной породы в зависимости от режима инкубации /
Fig. 3. Infectious activity of influenza A/Swine(H1N1) virus RII-41-2/2019 in various dilutions in embryos of Russian Snow-White breed chickens, depending on the incubation regime

Для оценки эффективности предложенного метода, как «рабочего» при использовании на различных видах вируса и породах кур, были проведены повторные исследования по экспериментальному заражению кур трех пород различного направления продуктивности вирусом инфекционного бронхита кур (ИБК).

В результате вирусологических исследований по оценке биологической активности вируса ИБК в куриных эмбрионах получены

данные, согласно которым у эмбрионов опытной группы инфекционная активность вируса ИБК была ниже по сравнению с контролем: у кур русской белоснежной породы – на 6,9 %, у итальянской куропатчатой – на 3,6 %, царскосельской – на 4,2 %. Что свидетельствует о снижении репликативной активности вакцинного вируса ИБК в эмбрионах, подвергшихся охлаждению в 5,5-суточном возрасте (табл. 4).

Таблица 4 – Исследование в эмбрионах трех пород кур инфекционной активности вируса ИБК шт.4/91 /
Table 4 – Infectious activity of IBV 4/91 strain in chicken embryos of three breeds

Показатель / Parameter	Русская белоснежная / Russian Snow-White		Итальянская куропатчатая / Leghorn Partridge		Царскосельская / Tsarskoselskaya	
	контроль / control	опыт / experimental	контроль / control	опыт / experimental	контроль / control	опыт / experimental
n = 40						
Масса яйца, г / Egg weight, g	55,3±0,6	55,3±0,6	49,8±0,5	49,1±0,4	63,5±0,5	63,4±0,6
Вирусодержащая жидкость / Extraembryonic fluid:						
- мл/эмбрион, мл / ml/embryo, ml	10,8±0,4	10,8±0,3	6,7 ^a ±0,3	5,0 ^b ±0,2	10,0±0,4	9,9±0,4
- мл/г массы яйца / ml/g of egg weight	0,195±0,009	0,195±0,010	0,135 ^c ±0,008	0,102 ^d ±0,009	0,157±0,012	0,156±0,010
Инфекционная активность в лгЭИД50/см ³ / Infectious activity in lgEID50/cm ³	7,20	6,70	6,95	6,70	7,20	6,90

Различия статистически достоверны при: ab P<0,001, cd P<0,01.

The differences are statistically significant: ab at p < 0.001, cd at p<0.01.

Разница в реакции на воздействие стресс-фактора мы полагаем вызвана межпородными различиями. Известно, что разные породы кур в одном и том же возрасте имеют неодинаковую массу яйца и качественные показатели яиц, основной из которых – величина желтка, что напрямую влияет на стадию развития эмбриона. Кроме того, скорость развития эмбриона и его провизорных органов у разных пород кур может различаться. Данный вопрос требует дополнительного изучения для повышения эффективности разрабатываемого метода повышения иммунобиологического статуса цыплят.

Полученные эффекты, как результат гипотермического воздействия в данный чувствительный период эмбриогенеза, могут быть объяснены индуцированием выработки эмбриональным стрессовых белков теплового и холодового шока, которые, в свою очередь, активируют врожденные противовирусные реакции, обусловленные ГКГ [14, 15]. Дальнейшие исследования данного вопроса будут направлены на уточнение стадии развития эмбриона по Гамбургеру-Гамильтону (1951), на которой низкотемпературное воздействие будет максимально эффективным, а также на уровень гипотермического стресс-фактора.

Заключение. По результатам исследований можно утверждать, что дозированное низкотемпературное воздействие в чувствительный период раннего эмбриогенеза (на 5,5 сутки инкубации) позволяет индуцировать врожденные противовирусные реакции, о чем свидетельствует пониженная репликативная и инфекционная активность штаммов вируса гриппа и инфекционного бронхита кур при экспериментальном заражении таких эмбрионов, в сравнении с эмбрионами контрольной группы. Цыплята, полученные из яиц, подвергшихся гипотермическому воздействию, обладали более высоким уровнем общей резистентности организма к заболеваниям бактериальной этиологии, о чем свидетельствует более высокая сохранность молодняка в первые 3 недели жизни (на 1,0 % выше, чем в контроле) и более высокий индекс бursы (выше на 8,5-9,0 %). Выводимость яиц опытной группы была на 4,5 % выше, чем в контроле. Однако данный вопрос требует дополнительного изучения с привлечением методов молекулярной генетики, поскольку предполагаемые механизмы, обуславливающие повышение иммунобиологического статуса эмбрионов в ответ на низкотемпературное воздействие, требуют подтверждения.

References

1. Somes R. G. International Registry of Poultry Genetic Stocks. The University of Connecticut Storrs, 1988. 98 p. URL: <http://digitalcommons.uconn.edu/saes/29>
2. Gul H., Habib G., Khan I. M., Rahman S. U., Khan N. M., Wang H., Khan N. U., Liu Y. Genetic resilience in chickens against bacterial, viral and protozoal pathogens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9:1032983. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1032983>
3. Kheimar A., Klinger R., Bertzbach L. D., Sid H., Yu Y., Conradie A. M., Schade B., Böhm B., Preisinger R., Nair V., Kaufer B. B., Schusser B. A Genetically Engineered Commercial Chicken Line Is Resistant to Highly Pathogenic Avian Leukosis Virus Subgroup J. *Microorganisms*. 2021;9(5):1066. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9051066>
4. Koslová A., Trefil P., Mucksová J., Reinišová M., Plachý J., Kalina J., Kučerová D., Geryk J., Krchlíková V., Lejčková B., Hejnar J. Precise CRISPR/Cas9 editing of the NHE1 gene renders chickens resistant to the J subgroup of avian leukosis virus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2020;117(4):2108-2112. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1913827117>
5. Challagulla A., Jenkins K. A., O'Neil T. E., Shi S., Morris K. R., Wise T. G., Paradkar P. N., Tizard M. L., Doran T. J., Schat K. A. In Vivo Inhibition of Marek's Disease Virus in Transgenic Chickens Expressing Cas9 and gRNA against ICP4. *Microorganisms*. 2021;9(1):164. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010164>
6. McGrew M. J., Sherman A., Ellard F. M., Lillico S. G., Gilhooley H. J., Kingsman A. J., Mitrophanos K. A., Sang H. Efficient production of germline transgenic chickens using lentiviral vectors. *EMBO Reports*. 2004;5(7):728-733. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400171>
7. Barjesteh N., O'Dowd K., Vahedi S. M. Antiviral responses against chicken respiratory infections: Focus on avian influenza virus and infectious bronchitis virus. *Cytokine*. 2020;127:154961. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2019.154961>
8. Schilling M. A., Katani R., Memari S., Cavanaugh M., Buza J., Radzio-Basu J., Mpenda F. N., Deist M. S., Lamont S. J., Kapur V. Transcriptional Innate Immune Response of the Developing Chicken Embryo to Newcastle Disease Virus Infection. *Frontiers in Genetics*. 2018;9:61. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00061>

9. Kaufman J., Salomonsen J. The "minimal essential ГКГ" revisited: both peptide-binding and cell surface expression level of ГКГ molecules are polymorphisms selected by pathogens in chickens. *Hereditas*. 1997;127(1-2):67-73. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1997.t01-1-00067.x>
10. Torigoe T., Tamura Y., Sato N. Heat shock proteins and immunity: application of hyperthermia for immunomodulation. *International Journal of Hyperthermia*. 2009;25(8):610-616. DOI: <https://doi.org/10.3109/02656730903315831>
11. Stewart G. R., Young D. B. Heat-shock proteins and the host-pathogen interaction during bacterial infection. *Current Opinion in Immunology*. 2004;16(4):506-510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coi.2004.05.007>
12. Zhao F. Q., Zhang Z. W., Qu J. P., Yao H. D., Li M., Li S., Xu S. W. Cold stress induces antioxidants and HSPs in chicken immune organs. *Cell Stress and Chaperones*. 2014;19(5):635-648. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12192-013-0489-9>
13. Станишевская О. И., Федорова Е. С. Сравнительная оценка особенностей стресс-реактивности организма кур русской белой породы с мутацией sw+ и амрокс на условия гипотермии в эмбриональном и раннем постнатальном периодах онтогенеза. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(6):1135-1143. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1135rus> EDN: JIVYWR
- Stanishevskaya O. I., Fedorova E. S. Comparative evaluation of the peculiarities of stress reactivity of the Russian white breed chicken with sw+ mutation and Amrox in hypothermia conditions during embryonal and early postnatal periods of ontogenesis. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2019;54(6):1135-1143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1135rus>
14. De Maio A., Vazquez D. Extracellular heat shock proteins: a new location, a new function. *Shock*. 2013;40(4):239-246. DOI: <https://doi.org/10.1097/SHK.0b013e3182a185ab>
15. Habich C., Burkart V. Heat shock protein 60: regulatory role on innate immune cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2007;64(6):742-751. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00018-007-6413-7>

Сведения об авторах

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

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

Information about the authors

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

Olga I. Stanishevskaya, DSc in Biology, Head of the Department of genetics, breeding and conservation of genetic resources of farm birds of Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moscow Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9504-3916>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1038-1048>

УДК 636.2.034+636.08

Оценка содержания церулоплазмينا, меди и координирующих медь аминокислот в молоке коров на разных сроках лактации© 2023. О. А. Воронина[✉], С. Ю. Зайцев, А. А. Савина, Н. С. Колесник

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Дубровицы, Российская Федерация

Цель исследования – изучение содержания церулоплазмينا, меди и координирующих медь аминокислот (в молекуле изучаемого белка) в молоке коров черно-пестрой породы на разных сроках лактации. Методы исследования: модифицированный метод определения церулоплазмينا по Ревину; определение меди на атомно-адсорбционном спектрометре ZEEnit 650 P (Analytik Jena AG, Германия), аминокислотный анализ с помощью высокоэффективной системы жидкостной хроматографии LC-20 Prominence (Shimadzu, Токио, Япония), оснащенной реакционным модулем постколоночной дериватизации нингидрином ARM-1000 (Sevko & Co., Москва, Россия). Группы для исследования сформированы в зависимости от сроков лактации: 1-2 месяц – 1 группа; 3-5 месяц – 2 группа; 6-7 месяц – 3 группа; 8-9 месяц – 4 группа. В каждую группу вошло по 8 животных. Для статистической обработки полученных результатов применяли U-критерий Манна-Уитни и корреляции Пирсона. Средние значения уровня церулоплазмينا в группах составили 0,44-0,49 мг/мл, меди 71-83 мкг/л, гистидина 0,11-0,13 г/100г, цистеина 0,03 г/100 г и метионина 0,09-0,11 г/100 г. В изучаемых 4 группах обнаружены небольшие различия в содержании церулоплазмينا, меди и трех аминокислот, однако только у 2 и 4 групп по гистидину эти различия являются достоверными. Таким образом, указанные интервалы содержания церулоплазмينا и меди могут служить важными ориентирами при определении «референтных интервалов» для молока здоровых коров в целом, при этом не обязательно учитывать разные сроки лактации.

Ключевые слова: лабораторная диагностика, белки теплового шока с антиоксидантной активностью, гистидин, метионин, цистеин

Благодарности: Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (FGGN 0445-2021-0002), регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР ГЗ 2021-2023-121052600314-1.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Воронина О. А., Савина А. А., Колесник Н. С., Зайцев С. Ю. Оценка содержания церулоплазмينا, меди и координирующих медь аминокислот в молоке коров на разных сроках лактации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1038-1048. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1038-1048>

Поступила: 05.06.2023

Принята к публикации: 23.11.2023 Опубликовано онлайн: 20.12.2023

Evaluation of the content of ceruloplasmin, copper and copper-coordinating amino acids in cow milk at different lactation periods© 2023. Oksana A. Voronina[✉], Sergey Yu. Zaitsev, Anastasia A. Savina, Nikita S. Kolesnik

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

The purpose of the research was to study the content of ceruloplasmin, copper and copper-coordinating amino acids (in the molecule of the studied protein) in the milk of white-and- black cows at different periods of lactation. The research methods were: modified method for determining ceruloplasmin by Revin; copper was determined using a ZEEnit 650 P atomic adsorption spectrometer (Analytik Jena AG, Germany), amino acid analysis was performed using a highly efficient LC-20 Prominence liquid chromatography system (Shimadzu, Tokyo, Japan) equipped with a reaction module for post-column derivatization with ninhydrin ARM-1000 (Sevko & Co., Moscow, Russia). The study groups were formed depending on the timing of lactation: 1-2 months – group 1; 3-5 months – group 2; 6-7 months – group 3; 8-9 months – group 4. Each group included 8 animals. The Mann-Whitney U criterion and Pearson correlations were used for statistical processing of the obtained results. The average values of ceruloplasmin levels in the groups were 0.44-0.49 mg/ml, copper 71-83 mcg/l, histidine 0.11-0.13 g/100g, cysteine 0.03 g/100g and methionine 0.09-0.11 g/100g. In these 4 groups, small differences were found in the content of ceruloplasmin, copper and three amino acids, but only for the second and fourth groups of histidine, these differ-

ences were significant. Thus, the indicated intervals of ceruloplasmin and copper content can serve as important guidelines for determining the "reference intervals" for cow milk in general, while it is not necessary to take into account different lactation periods.

Keywords: laboratory diagnostics, heat shock proteins with antioxidant activity, histidine, methionine, cysteine

Acknowledgements: the work was financially supported by fundamental scientific research of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (FGGN 0445-2021-0002), the registration number of the EGISU of the research topic GZ 2021-2023 is 121052600314-1.

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: Voronina O. A., Savina A. A., Kolesnik N. S., Zaitsev S. Yu. Evaluation of the content of ceruloplasmin, copper and copper-coordinating amino acids in cow milk at different lactation periods. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(6):1038-1048. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1038-1048>

Received: 05.06.2023

Accepted for publication: 23.11.2023

Published online: 20.12.2023

Церулоплазмин (ЦП) один из консервативных белков крупного «семейства» металлопротеинов, обладающих ферментативными свойствами. Ключевая функция ЦП состоит в регуляции транспорта железа для включения в клетки и основные железосодержащие белки [1]. Совместно с другими «мультимедными феррооксидазами» – гефестином и циклопеном ЦП поддерживает гомеостаз железа в организме млекопитающих. Каждый из этих ферментов содержит не менее шести атомов меди и действует как промежуточный акцептор электронов [1, 2, 3]. Церулоплазмин синтезируется клетками печени, молочной железы и другими, причем ЦП встречается как в секретированной, так и в связанной с мембраной клеток форме [2]. Подробная структура церулоплазмина и его роль в метаболизме железа показана в ряде фундаментальных работ [2, 3, 4]. Например, в работах G. Vashchenko [3] и К. А. Мошков [4] отмечена особая роль в медь-связывающих центрах белков данного семейства двух остатков гистидина (HIS) и по одному – метионина (MET) и цистеина (CYS). При этом наиболее значительная роль по координации ионов меди (Cu^{2+}), которых на одну молекулу приходится не менее шести, отводится остаткам гистидина [4]. Церулоплазмин содержится в сыворотке крови, молоке, спинномозговой жидкости и других внеклеточных секретах [5]. У кормящих млекопитающих до 30 % усвояемой меди обходит печень и всасывается клетками молочной железы, где повышен уровень экспрессии гена церулоплазмина. Для новорожденных церулоплазмин является источником меди, а их молекулярно-генетические механизмы, ответственные за гомеостаз меди, высокоадаптированы к ЦП молока [5]. По данным работы [6], в молоке содержится от 65,37 до 89,85 мкг/л меди. В работе [7] количество церулоплазмина в

молоке, полученном от здоровых коров группы контроля, установлено на уровне 0,73-2,11 ед./г белка, тогда как у животных с различного рода бактериальной обсемененностью молока уровень ЦП составлял от 3,35 до 8,02 ед./г белка [7].

Для промышленного производства молочной продукции важно не только оценить качество сырьевого молока, но и сохранить его, предотвратив процессы преждевременного окисления молочного жира. В этой связи церулоплазмин интересен как белок-индикатор острой фазы воспаления, а также как звено системы антиоксидантной защиты. Эти свойства церулоплазмина могут быть полезными для сохранения надлежащего качества продукта. Выше описана роль церулоплазмина в координации меди, а как известно, избыток меди в молоке сопряжен с риском развития окислительных процессов, появлением специфического привкуса и повышенным риском порчи продукта [8]. Очевидно, речь идет об избытке меди, поступающей в свободном виде. Поскольку именно неуправляемые окислительно-восстановительные циклы $[\text{Cu(I)}/\text{Cu(II)}]$ индуцируют образование свободных радикалов, воздействующих на клетку как ионизирующее облучение [9]. Поэтому важно, чтобы ионы меди находились в составе функциональных групп белков, куда она интегрирована за счет координации с определенными аминокислотами.

В мировой практике основное внимание приковано к роли ЦП как индикатора патологии мастита. Содержание церулоплазмина и ионов меди (в крови) подвергается физиологическому повышению сразу после отела, что легко объяснить его функцией белка теплового шока, который повышается в острой фазе воспаления [10]. В работах М. Щубяль (M. Szczubial) [9, 11] и Н. Салех (N. Saleh) [12] показано, что увеличение уровня активности церулоплазмина в молоке коров совпадает с проявле-

ниями как клинического мастита (различной степени тяжести), так и субклинического, на это обращено внимание в работе А. Садат (A. Sadat) [13]. Настоящее же исследование сконцентрировано на исследовании ЦП, уровне меди и координирующих медь аминокислот в молоке здоровых коров на разных стадиях лактации.

Цель исследования – изучение активности церулоплазмينا, содержания меди и ряда координирующих медь аминокислот в молоке здоровых коров на разных стадиях лактации.

Научная новизна исследования связана с анализом уровня ЦП в комплексе с медью и координирующими медь аминокислотами в зависимости от сроков лактации у клинически здоровых животных.

Материал и методы. Исследования выполнены в мае-июле 2022 г. на базе племенного завода «Ладожский» и лаборатории ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (отдел физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных). Молоко получали от коров черно-пестрой породы один раз в месяц, все измерения выполнены в трех повторениях. Группы формировали выборочным методом из генеральной совокупности лактирующих коров в зависимости от сроков отела и числа дойных дней. В первую группу вошли животные 1-2 месяца лактации, во вторую – 3-5 месяца, третью – 6-7 месяца и четвертую – 8-9 месяца лактации. Данные об удоях учитывали во время контрольной дойки в хозяйстве.

Измерение ЦП молока проводили по модифицированному методу Ревина, который основан на участии ЦП в окислении р-фенилендиамина. Ферментативная реакция останавливается добавлением фторида натрия. По оптической плотности образующихся продуктов рассчитывали концентрацию ЦП [14].

В качестве реактивов использовали 0,5%-ный водный раствор солянокислого р-фенилендиамина, 0,4 М ацетатный буфер (рН = 5,5), который готовили на ацетате натрия (54,44 г на 1 литр дистиллированной воды) и ледяной уксусной кислоте (22,6 мл до 1 литра дистиллированной воды) в отношении 9:1. Раствор фтористого натрия в концентрации 3 % готовили на дистиллированной воде. В пробирки вносили по 8 мл ацетатного буфера и 0,1 мл молока. Молоко предварительно центрифугировали для отделения жировой фракции. В контрольную пробирку добавляли 2 мл раствора фтористого натрия (для инактивации ферментативной активности ЦП). Затем во все

пробирки вливали по 1 мл раствора р-фенилендиамина (используемого в качестве субстрата). Пробирки встряхивали, помещали в термостат и инкубировали в течение часа при температуре 37 °С. После инкубации во все пробирки (за исключением контрольной) добавляли по 2 мл раствора фтористого натрия. Содержимое пробирок перемешивали, затем их переносили в холодильник, где выдерживали 30 мин при 4 °С. Пробы колориметрировали против контроля (бледно-розовой окраски) в кюветах с толщиной слоя 1,0 см при длине волны 530 нм. Полученное значение оптической плотности умножали на коэффициент пересчета 875 и получали величину концентрации ЦП в мг/л.

Биохимический анализ проб молока выполняли на анализаторе MilkoScan 7 RM. Принцип работы прибора основан на инфракрасной спектрофотометрии с преобразованием Фурье (ИКСФ). Устройство работает в среднем ИК-диапазоне спектра от 2-11 мкм, что соответствует 1000-5000 см⁻¹. ИКСФ-интерферометр сканирует весь ИК-спектр в указанном диапазоне [15]. Подсчет соматических клеток проведен в системе Fossomatic 7 на базе метода проточной цитометрии.

Определение уровня меди. Для подготовки образцов молока к анализу проводили минерализацию пробы в системе микроволновой подготовки проб MILESTONE ETHOS UP / ETHOS EASY (Италия). К 0,5 мл молока добавляли 1,0 мл 30 %-ной перекиси водорода и 5,0 мл азотной кислоты. Режим системы микроволновой подготовки – 20 мин нагревание до 195 °С, 15 минут удержание при температуре 195 °С и 30 минут охлаждение до 30 °С. Контроль за нагреванием образцов осуществляли по графику подъема температуры. Непосредственный анализ содержания меди выполнен методом атомно-абсорбционной спектроскопии на высокотехнологичном электротермическом атомно-абсорбционном спектрометре с дейтериевой и Зеемановской коррекцией ZEE nit650P (Analytik Jena). Режим определения однолучевой оптический при длине волны 324,8 нм, лампа – МЛПКЛ, ток – 10 мА, усиление – 6 мА, щель – 0,8 нм, без модификатора. Для подачи пробы в графитовую печь использовали автосемплер.

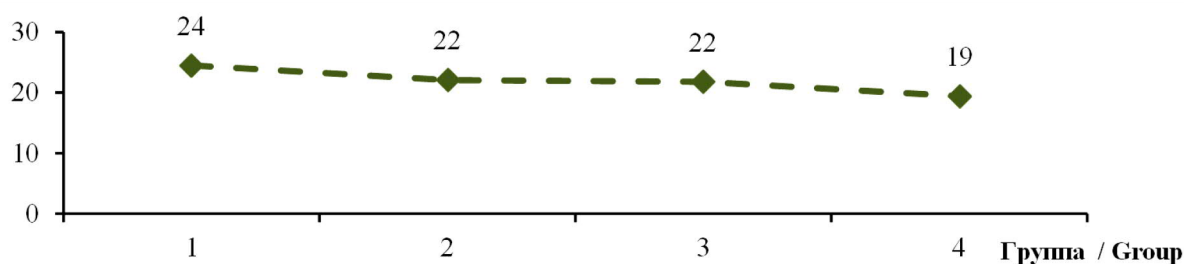
Для анализа аминокислот в гидролизатах белков использовали систему ВЭЖК LC-20 AD Prominence (Shimadzu, Япония) с реакционным модулем для постколоночной дериватизации APM-1000 (Sevko&Co, Россия), как описано в работе [16].

Обработку полученных результатов проводили в программе MS Excel. Статистический критерий для оценки различий между выборками – U-критерий Манна-Уитни, при условии, что $U_{\text{эсп.}} \leq U_{\text{эмп.}}$ (15 для $n = 8$), то установленные различия статистически значимы. Поскольку в каждой группе было по 8 животных и распределение рангов приближается к стандартному нормальному Z-распределению, рассчитывали дополнительно величину Z-статистики и достигнутый уровень статистической значимости p , как описано в работе [17]. Корреляции рассчитаны по Пирсону [18].

Результаты и их обсуждение. В период проведения работы мы наблюдали за уровнем суточного удоя (рис. 1) лактирующих коров, установили массовую долю белка (рис. 2), церулоплазмينا (рис. 3), меди (рис. 4) и аминокислот (рис. 5), участвующих в координации иона меди в молекуле церулоплазмينا, а именно,

гистидина, метионина и цистеина. Кроме того, рассмотрели корреляции между изучаемыми показателями.

При оценке полученного результата установлено планомерное и закономерное снижение уровня удоя (рис. 1) от начала лактационного периода к запуску, без подтверждения достоверности. Это естественно, так как известно [19], что после отёла секреция молока постепенно нарастает, пик лактации приходится на первый-третий месяцы после отёла, затем происходит снижение удоя. В 3 и 4 группах снижение удоев на 11,2 и 20,8 % сопровождается достоверным увеличением массовой доли белка на 17,9 и 25 % соответственно (рис. 2). В части наблюдения за динамикой изменения удоя и содержания белка в молоке наши результаты сопоставимы с данными, полученными Л. Г. Хромовой с соавторами [19].



**Рис. 1. Уровень суточного удоя лактирующих коров в исследуемых группах, л /
Fig. 1. The level of daily milk yield of lactation cows in the studied groups, l**

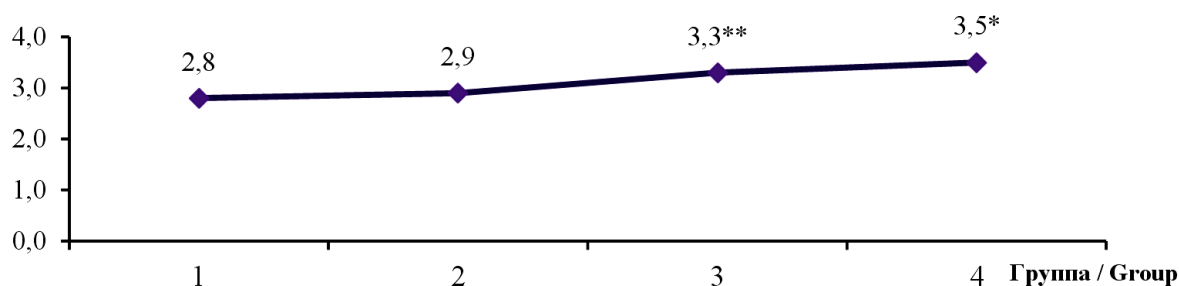


Рис. 2. Уровень массовой доли белка в молоке коров исследуемых групп, %.

* $U_{\text{эсп.}} = 7$, $Z = 2.68$, $p = 0.01$; ** $U_{\text{эсп.}} = 14$, $Z = 1.94$, $p = 0.06$ (по отношению к первой группе) /

Fig. 2. The level of the mass fraction of protein in the milk of cows from the studied groups, %.

* $U_{\text{эсп.}} = 7$, $Z = 2.68$, $p = 0.01$; ** $U_{\text{эсп.}} = 14$, $Z = 1.94$, $p = 0.06$ (in relation to the first group)

При изучении уровня ЦП и меди на протяжении всего периода лактации наблюдается постоянство, достоверных различий между группами не установлено. Самый низкий результат по ЦП получили во 2 группе, который на 0,04 мг/мл ниже, чем в 1 и 3 группах и на 0,05 мг/мл ниже значений группы (рис. 3). Самые высокие средние показатели ЦП отмечены в 4 группе. При этом самые низкие

значения уровня меди установлены также во второй группе (рис. 4).

При изучении уровня аминокислот (рис. 5) на протяжении всего периода лактации уровень цистеина не изменялся. Уровень метионина изменялся незначительно, без достоверных различий, уровень гистидина во 2 и 4 группах в сравнении с 1 достоверно выше на 15 %.

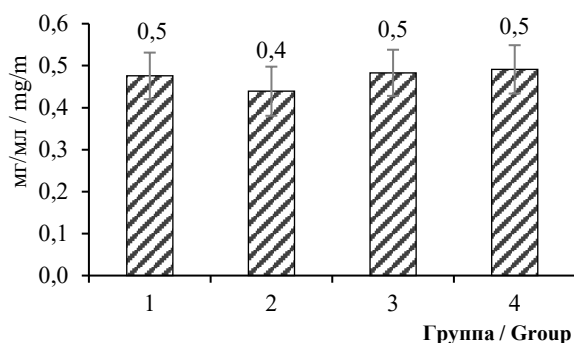


Рис. 3. Уровень церулоплазмينا в молоке коров исследуемых групп в зависимости от срока лактации /
Fig. 3. The level of ceruloplasmin in the milk of cows of the studied groups, depending on the lactation period

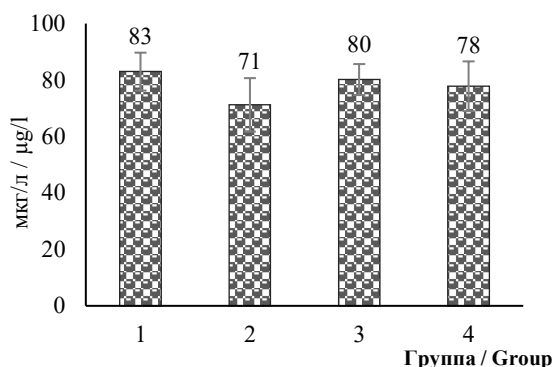


Рис. 4. Уровень меди в молоке коров исследуемых групп в зависимости от срока лактации /
Fig. 4. The level of copper in the milk of cows of the studied groups depending on the lactation period

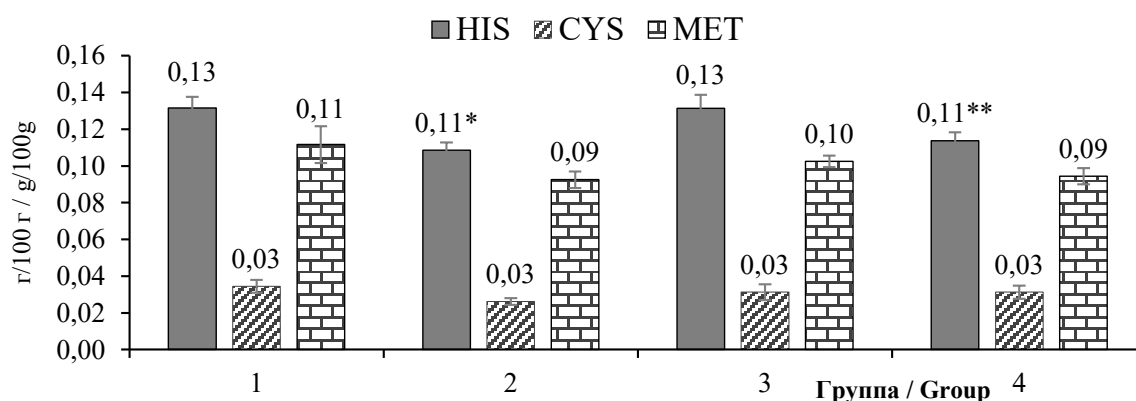


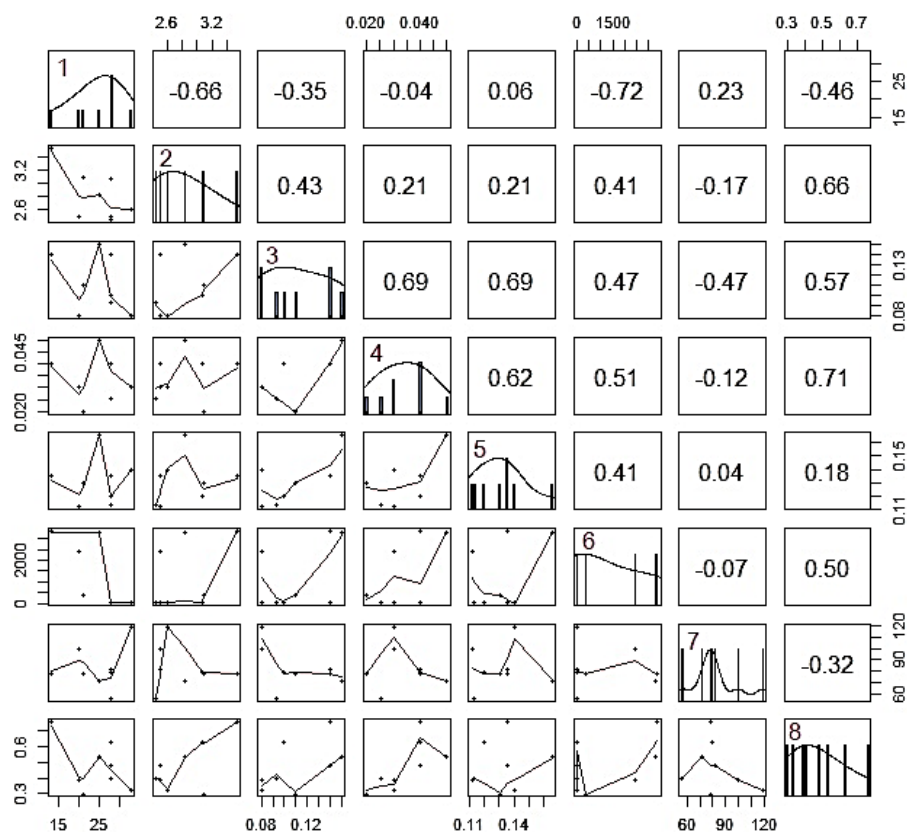
Рис. 5. Уровень гистидина (HIS), метионина (MET) и цистеина (CYS) в молоке коров исследуемых групп, в зависимости от срока лактации. * $U_{\text{эсп.}} = 7$, $Z = 2.68$, $p = 0.01$; ** $U_{\text{эсп.}} = 13$, $Z = 1.05$, $p = 0.049$ (по отношению к первой группе) /

Fig. 5. The level of histidine (HIS), methionine (MET) and cysteine (CYS) in the milk of cows of the studied groups, depending on the lactation period. * $U_{\text{эсп.}} = 7$, $Z = 2.68$, $p = 0.01$; ** $U_{\text{эсп.}} = 13$, $Z = 1.05$, $p = 0.049$ (in relation to the first group)

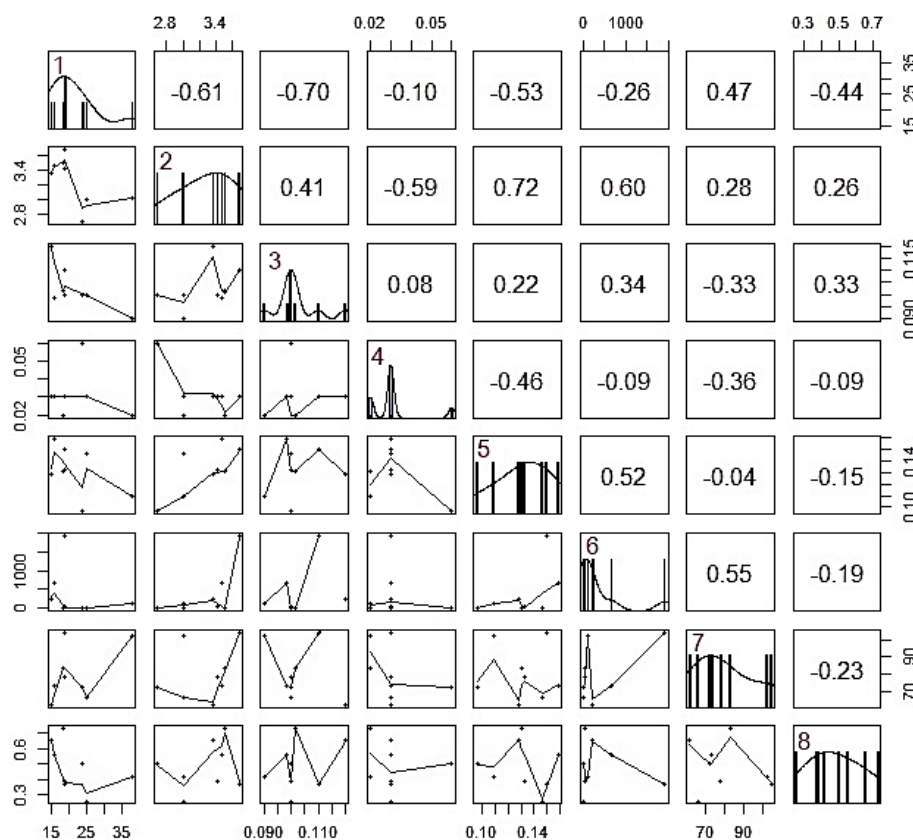
Корреляционные матрицы (рис. 6) представлены для каждой изучаемой группы. Сильная и умеренная отрицательная взаимосвязь установлена между суточным удоем и массовой долей белка: для 1 группы $r = -0.66$ ($r^2 = 0.44$, $p = 0.001$); 2 группы $r = -0.58$ ($r^2 = 0.34$, $p = 0.001$); 3 группы $r = -0.61$ ($r^2 = 0.37$, $p = 0.001$); 4 группы $r = -0.83$ ($r^2 = 0.69$, $p = 0.001$). Умеренная отрицательная корреляционная связь установлена между суточным удоем и ЦП: для 1 группы $r = -0.46$ ($r^2 = 0.21$, $p = 0.05$); 2 группы $r = -0.47$ ($r^2 = 0.22$, $p = 0.05$); 3 группы $r = -0.44$ ($r^2 = 0.19$, $p = 0.05$). В 4 группе значение ЦП сохраняет отрицательное направление корреляционной взаимосвязи, однако, сила этого взаимодействия стремится к нулю. Возможно, это связано с увеличением массовой доли белка и снижением доли ЦП к общей доле белка в молоке, поскольку уровень ЦП, по нашим данным, остается прежним. В работе [9] авторы отмечают, что основная функция ЦП молока –

пищевая, и контроль над поступлением пищевой меди осуществляется на уровне регуляции активности синтеза ЦП молочной железой. Это позволяет выдерживать постоянство поступающей меди с ЦП при увеличении объема молока [9]. В свою очередь, стоит помнить, что церулоплазмин лишь один представитель группы белков, образующих в организме метаболическую систему меди.

У коров в группах 2 и 4, в молоке которых меди содержится в среднем меньше, корреляции этого элемента с ЦП положительные: $r = 0.32$ ($r^2 = 0.10$) и $r = 0.45$ ($r^2 = 0.20$, $p = 0.05$) соответственно. В группах 1 и 3, где меди в молоке в среднем больше, корреляции с ЦП отрицательные: $r = -0.32$ ($r^2 = 0.10$) и $r = -0.23$ ($r^2 = 0.05$) соответственно. Таким образом, мы можем предположить, что сила и направление взаимосвязи между ЦП и медью могут меняться в зависимости от количества меди в молоке.



a / a



6 / b

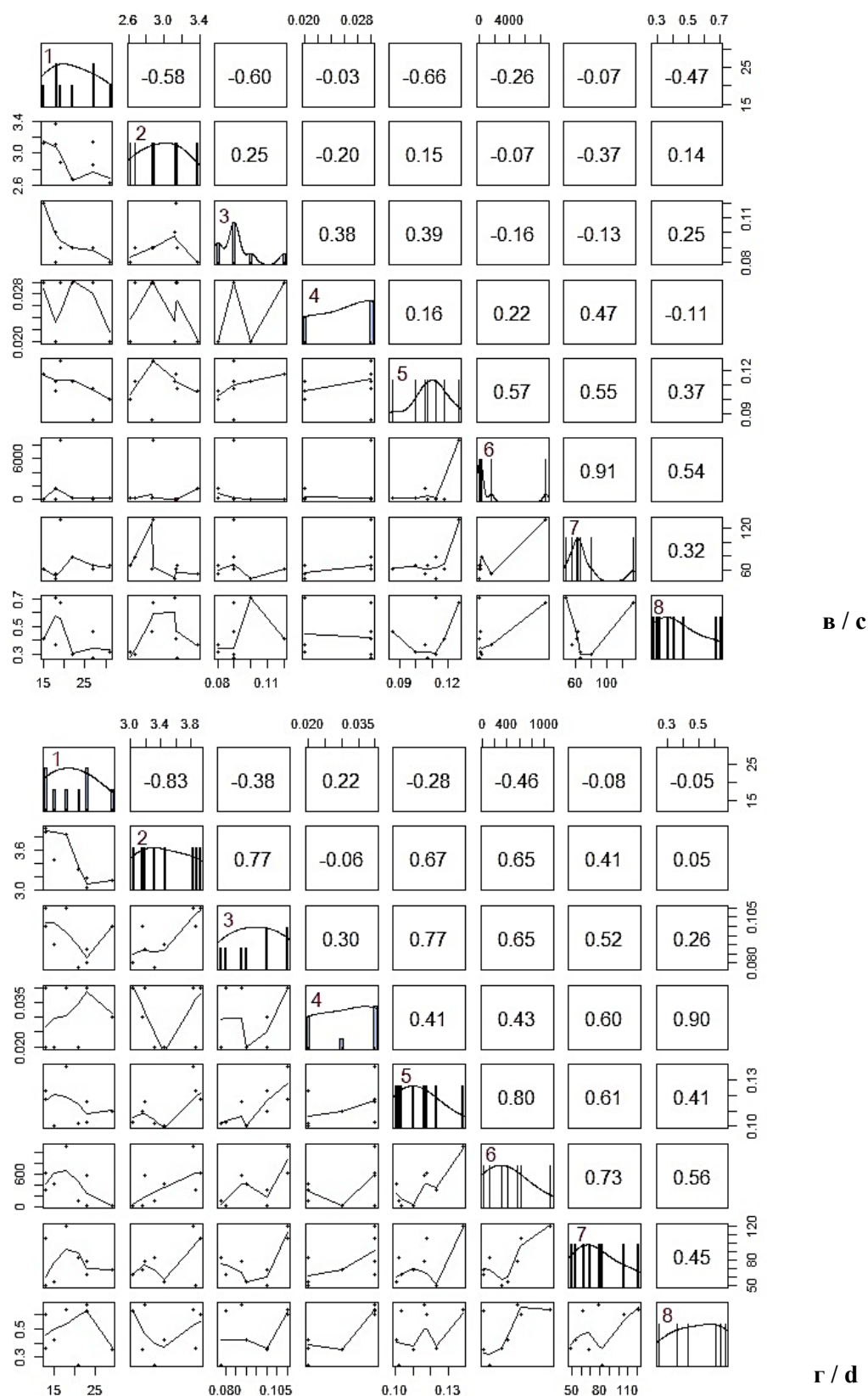


Рис. 6. Корреляционная матрица между изучаемыми параметрами для 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (г) групп. Сверху вниз по диагонали ряды: 1 – суточный удой, 2 – массовая доля белка, 3 – метионин, 4 – цистеин, 5 – гистидин, 6 – количество соматических клеток, 7 – медь, 8 – церулоплазмин /

Fig. 6. Correlation matrix between the studied parameters for groups 1 (a), 2 (b), 3 (c) and 4 (d). From top to bottom diagonally: 1 row – daily milk yield, 2 row – mass fraction of protein, 3 row – methionine, 4 row – cysteine, 5 row – histidine, 6 row – the number of somatic cells, 7 row – copper, 8 row – ceruloplasmin

В нашем исследовании направление взаимосвязи положительное в группах, где в среднем содержание меди в молоке меньше 80 мкг/л и отрицательное – больше 80 мкг/л. Это наблюдение требует дальнейшего исследования, поскольку различия между группами по уровню меди не подтверждаются достоверно. В работе М. В. Петухова с соавторами обнаружено, что при избытке меди ЦП подвержен олигомеризации [20], возможно, это сказывается на направлении коэффициента корреляции. Стоит при этом уточнить, что в данной работе речь идет о ЦП, который выделен и дополнительно очищен из плазмы крови. Данных о подобных экспериментах с ЦП молока в очищенном виде или в многокомпонентной коллоидной системе молока нет. Помимо прочего, кроме перечисленных аминокислот, медь может связываться лейцином, фенилаланином, глутаминовой кислотой [3, 4]. Это справедливо для медьпротеидов, где упомянутые аминокислоты замещают метионин. По нашим данным, из трех изучаемых аминокислот для метионина во всех группах установлена положительная корреляционная связь: для 1 – $r = 0,57$ ($r^2 = 0,32$, $p = 0,05$); 2 – $r = 0,25$ ($r^2 = 0,06$); 3 – $r = 0,33$ ($r^2 = 0,11$) и 4 – $r = 0,26$ ($r^2 = 0,07$). Для гистидина и ЦП установлена положительная корреляционная взаимосвязь во 2 и 4 группах: $r = 0,37$ ($r^2 = 0,14$) и $r = 0,41$ ($r^2 = 0,17$, $p = 0,05$) соответственно. Для цистеина сильная положительная взаимосвязь установлена в 1 и 4 группах: $r = 0,71$ ($r^2 = 0,50$, $p = 0,001$) и $r = 0,90$ ($r^2 = 0,81$, $p = 0,001$) соответственно. Поскольку все белки молока состоят из аминокислот, а регуляция синтеза ЦП обусловлена сложностью и индивидуальностью в функциональной активности регуляторного участка гена ЦП, достаточно трудно, опираясь лишь на коэффициент корреляции, установить зависимость между наблюдаемым нами количеством изучаемых аминокислот и содержанием в молоке ЦП. Для надежной опоры и существенных выводов необходимо больше наблюдений. Процесс синтеза ЦП в молочной железе очень консервативен на межвидовом уровне. Регуляция поступления ЦП в молоко осуществляется путем подавления его синтеза во время созревания молока. Это необходимо, поскольку в подсосный период у млекопитающих отсутствует механизм, ограничивающий всасывание меди в кишечнике и её выведение из организма. С возрастом от общего объема поступающей меди всасывается порядка 30 %, а усваивается и включается в метаболизм ещё меньше [9].

Что касается противовоспалительного действия ЦП молока, оно проявляется за счет уменьшения адгезии нейтрофилов к эндотелиальным клеткам и нейтрализации свободных радикалов [7], поэтому уровень его повышается на самых ранних стадиях субклинического мастита у коров. В работе [7] показано, что в зависимости от выявленной патогенной микрофлоры (развившейся на фоне мастита или послужившей причиной его возникновения) уровень ЦП достоверно различается. Поскольку нашей основной задачей стояла оценка уровня ЦП у клинически здоровых коров на разных стадиях лактации, мы помимо анамнеза и клинического осмотра провели оценку коэффициента корреляции между ЦП и числом соматических клеток в молоке коров, вошедших в группы для исследования. Из 8 наблюдаемых животных у 2-3 коров в каждой группе число соматических клеток установлено на уровне, близком к 500 тыс. в 1 см³. В 1, 2 и 4 группах обнаружены сильные положительные корреляции между числом соматических клеток и ЦП: $r = 0,50$ ($r^2 = 0,25$, $p = 0,05$); $r = 0,54$ ($r^2 = 0,29$, $p = 0,01$); $r = 0,56$ ($r^2 = 0,31$, $p = 0,01$) соответственно. Таким образом, исследования в данном направлении необходимо продолжать

Заключение. Влияние срока лактации на уровень содержания церулоплазмينا, меди, метионина и цистеина в молоке коров слабое, различия, полученные нами, по данной выборке достоверно не подтверждаются. При этом, постепенно происходит достоверное увеличение массовой доли белка в молоке коров 3 и 4 групп на 18 и 25 % и недостоверное снижение суточного удоя на 12 и 26 % соответственно. Изменение суточного удоя и массовой доли белка в молоке не влияет на уровень ЦП, меди, метионина и цистеина. Таким образом, при решении задачи определения уровня «референтных интервалов» церулоплазмينا в молоке можно устанавливать их для дойного стада в целом, не разбивая коров на группы по срокам лактации (вне зависимости от суточного удоя и массовой доли белка), и использовать полученные данные для дальнейшего изучения воспалительных процессов в вымени.

Исследование по определению уровня меди и координирующих медь аминокислот в молоке на протяжении лактационного периода необходимо продолжить. В контексте взаимосвязи с ЦП установлен ряд корреляций, описанных выше, которые могут представлять

научный интерес для планирования дальнейших исследований.

Установленные сила и направление корреляционной взаимосвязи между медью и ЦП могут быть как отрицательными (меди больше

80 мкг/л), так и положительными (меди меньше 80 мкг/л). Поскольку различия между группами по уровню меди не подтверждаются достоверно, необходимы дальнейшие исследования, в том числе на большей выборке дойных коров.

Список литературы

1. Harris Z. L. Chapter 9 – Ceruloplasmin. Clinical and Translational Perspectives on Wilson Disease. Academic Press. 2019. pp. 77-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810532-0.00009-4>
2. Helman S. L., Zhou J., Fuqua B. K., Lu Y., Collins J. F., Chen H., Vulpe C. D., Anderson G. J., Frazer D. M. The biology of mammalian multi-copper ferroxidases. BioMetals. 2022;36:263-281. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00370-z>
3. Vashchenko G., MacGillivray R. T. A. Multi-copper oxidases and human iron metabolism. Nutrients. 2013;5(7):2289-2313. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu5072289>
4. Мошков К. А., Зайцев В. Н., Романовская Е. В., Стефанов В. Е. Церулоплазмин: внутримолекулярный перенос электронов и ферроксидазная активность. Фундаментальные исследования. 2014;(3-1):104-108. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21291815> EDN: RXYDRP
5. Puchkova L. V., Babich P. S., Zatulovskaia Y. A., Ilyechova E. Y., Di Sole F. Copper metabolism of newborns is adapted to milk ceruloplasmin as a nutritive source of copper: Overview of the current data. Nutrients. 2018;10(11):1591. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111591>
6. Dobrzanski Z., Kolacz R., Górecka H., Chojnacka K., Bartkowiak A. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian region. Polish Journal of Environmental Studies. 2005;14(5):685-689.
7. Szczubial M., Dabrowski R., Kankofer M., Bochniarz M., Komar M. Concentration of serum amyloid A and ceruloplasmin activity in milk from cows with subclinical mastitis caused by different pathogens. Polish Journal of Veterinary Sciences. 2012;15(2):291-296. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10181-011-0149-x>
8. Воронина О. А., Боголюбова Н. В., Зайцев С. Ю. Минеральные элементы в составе молока коров-мини-обзор. Сельскохозяйственная биология. 2022;57(4):681-693. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.681rus> EDN: BMBZXD
9. Цымбаленко Н. В., Гюлиханганова Н. Е., Платонова Н. А., Бабич В. С., Евсюкова И. И., Пучкова Л. В. Регуляция активности гена церулоплазмينا в клетках молочной железы. Генетика. 2009;45(3):390-400. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11713826> EDN: JWIRLR
10. Hussein H. A., Staufienbiel R. Variations in copper concentration and ceruloplasmin activity of dairy cows in relation to lactation stages with regard to ceruloplasmin to copper ratios. Biological trace element research. 2012;146:47-52. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9226-3>
11. Szczubial M., Dabrowski R., Kankofer M., Bochniarz M., Albera E. Concentration of serum amyloid A and activity of ceruloplasmin in milk from cows with clinical and subclinical mastitis. Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy. 2008;3(52):391-395.
12. Saleh N., Allam T. S., Omran A., Abdelfattah A. M. Evaluation of Changes in Hemato-Biochemical, Inflammatory, and Oxidative Stress Indices as Reliable Diagnostic Biomarkers for Subclinical Mastitis in Cows. Alexandria Journal for Veterinary Sciences. 2022;(72)2:23-34. DOI: <https://doi.org/10.5455/ajvs.140786>
13. Sadat A., Farag A. M., Elhanafi D., Awad A., Elmahallawy E. K., Alsowayeh N., El-khadragy M. F., Elshopakey G. E. Immunological and Oxidative Biomarkers in Bovine Serum from Healthy, Clinical, and Sub-Clinical Mastitis Caused by Escherichia coli and Staphylococcus aureus Infection. Animals. 2023;13(5):892. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13050892>
14. Зыков А. А., Головнев Б. А., Зыкова А. А., Белкина О. М. Соотношение функционально активных белков в сыворотке крови и центральной лимфе в раннем периоде синдрома длительного сдавления. Здоровоохранение Кыргызстана. 2012;(2):36-38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30682570> EDN: XGHJTP
15. Сермягин А., Зиновьева Н., Ермилов А., Янчуков И. Инфракрасная спектроскопия молока. Животноводство России. 2019;(S1):65-68. DOI: <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.17.64.008> EDN: KUBFOZ
16. Воронина О. А. Уровень меди в молоке коров племенного хозяйства в зимний и весенний период. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2022;(12-1):112-116. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202212114> EDN: YWWCSA
17. Фадейкина О. В., Волкова Р. А., Карпова Е. В. Статистическая обработка результатов аттестации биологических стандартных образцов: применение критерия Манна-Уитни. Химико-фармацевтический журнал. 2019;53(7):54-58. DOI: <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2019-53-7-54-58> EDN: HQTGTD

18. Саадалов Т., Мырзаibraимов Р., Абдуллаева Ж. Д. Методика расчета коэффициента корреляции Фехнера и Пирсона, и их области применения. Бюллетень науки и практики. 2021;7(10):270-276. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/31> EDN: GNMYZT
19. Хромова Л. Г., Аристов А. В., Байлова Н. В., Мусенко И. В. Особенности лактационной функции коров молочных пород в условиях беспривязной технологии содержания. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017;(4):79-88. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.4.79> EDN: YWLHVR
20. Петухов М. В., Соколов А. В., Костевич В. А., Самыгина В. Р. Олигомеризация церулоплазмينا под действием ионов меди. Кристаллография. 2021;66(5):802-806. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0023476121050179> EDN: FPRMZJ

References

1. Harris Z. L. Chapter 9 – Ceruloplasmin. Clinical and Translational Perspectives on Wilson Disease. Academic Press. 2019. pp. 77-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810532-0.00009-4>
2. Helman S. L., Zhou J., Fuqua B. K., Lu Y., Collins J. F., Chen H., Vulpe C. D., Anderson G. J., Frazer D. M. The biology of mammalian multi-copper ferroxidases. BioMetals. 2022;36:263-281. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00370-z>
3. Vashchenko G., MacGillivray R. T. A. Multi-copper oxidases and human iron metabolism. Nutrients. 2013;5(7):2289-2313. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu5072289>
4. Moshkov K. A., Zajcev V. N., Romanovskaja E. V., Stefanov V. E. Ceruloplasmin: intramolecular electron transfer and ferroxidase activity. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2014;(3-1):104-108. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21291815>
5. Puchkova L. V., Babich P. S., Zatulovskaia Y. A., Ilyechova E. Y., Di Sole F. Copper metabolism of newborns is adapted to milk ceruloplasmin as a nutritive source of copper: Overview of the current data. Nutrients. 2018;10(11):1591. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111591>
6. Dobrzanski Z., Kolacz R., Górecka H., Chojnacka K., Bartkowiak A. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian region. Polish Journal of Environmental Studies. 2005;14(5):685-689.
7. Szczubial M., Dabrowski R., Kankofer M., Bochniarz M., Komar M. Concentration of serum amyloid A and ceruloplasmin activity in milk from cows with subclinical mastitis caused by different pathogens. Polish Journal of Veterinary Sciences. 2012;15(2):291-296. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10181-011-0149-x>
8. Voronina O. A., Bogolyubova N. V., Zaytsev S. Yu. Mineral composition of cow milk – a mini review. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(4):681-693. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.681rus>
9. Tsymbalenko N. V., Gyulikhandanova N. E., Platonova N. A., Babich V. S., Evsyukova I. I., Puchkova L. V. Regulation of ceruloplasmin gene activity in mammary gland cells. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2009;45(3):390-400. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11713826>
10. Hussein H. A., Staufenbiel R. Variations in copper concentration and ceruloplasmin activity of dairy cows in relation to lactation stages with regard to ceruloplasmin to copper ratios. Biological trace element research. 2012;146:47-52. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9226-3>
11. Szczubial M., Dabrowski R., Kankofer M., Bochniarz M., Albera E. Concentration of serum amyloid A and activity of ceruloplasmin in milk from cows with clinical and subclinical mastitis. Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy. 2008;3(52):391-395.
12. Saleh N., Allam T. S., Omran A., Abdelfattah A. M. Evaluation of Changes in Hemato-Biochemical, Inflammatory, and Oxidative Stress Indices as Reliable Diagnostic Biomarkers for Subclinical Mastitis in Cows. Alexandria Journal for Veterinary Sciences. 2022;(72)2:23-34. DOI: <https://doi.org/10.5455/ajvs.140786>
13. Sadat A., Farag A. M., Elhanafi D., Awad A., Elmahallawy E. K., Alsowayeh N., El-khadragy M. F., Elshopakey G. E. Immunological and Oxidative Biomarkers in Bovine Serum from Healthy, Clinical, and Sub-Clinical Mastitis Caused by Escherichia coli and Staphylococcus aureus Infection. Animals. 2023;13(5):892. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13050892>
14. Zykova A. A., Golovnev B. A., Zykova A. A., Belkina O. M. Correlation of functionally active proteins in serum and central lymph during early crush syndrome. *Zdravookhraneniye Kyrgyzstana* = Health care of Kyrgyzstan. 2012;(2):36-38. (In Kyrgyzstan). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30682570>
15. Sermyagin A., Zinov'yeva N., Ermilov A., Yanchukov I. Infrared spectroscopy of milk. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2019;(S1):65-68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.17.64.008>
16. Voronina O. A. The level of copper in the milk of breeding cows in winter and spring. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology. 2022;(12-1):112-116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202212114>

17. Fadeikina O. V., Volkova R. A., Karpova E. V. Statistical analysis of results from the attestation of biological standard samples: use of the Mann-Whitney test. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* = Pharmaceutical Chemistry Journal. 2019;53(7):54-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2019-53-7-54-58>
18. Saadalov T., Myrzaibraimov R., Abdullaeva Zh. D. Calculating procedure for the correlation coefficient of Fechner and Pearson and their application areas. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2021;7(10):270-276. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/31>
19. Khromova L. G., Aristov A. V., Baylova N. V., Musenko I. V. Peculiarities of lactogenous function in dairy cows in the conditions of loose housing. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2017;(4):79-88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.4.79>
20. Petukhov M. V., Samygina V. R., Sokolov A. V., Kostevich V. A. Copper-induced oligomerization of ceruloplasmin. *Kristallografiya* = Crystallography Reports. 2021;66(5):802-806. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0023476121050179>

Сведения об авторах

✉ **Воронина Оксана Александровна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>, e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru

Зайцев Сергей Юрьевич, доктор биол. наук, доктор хим. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

Савина Анастасия Анатольевна, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

Колесник Никита Сергеевич, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Information about the authors

✉ **Oksana A. Voronina**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>, e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru

Sergey Yu. Zaitsev, DSc in Biological Science, DSc in Chemical Science, professor, leading researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

Anastasia A. Savina, junior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

Nikita S. Kolesnik, junior researcher, the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: vijinfo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1049-1056>
УДК 631.354:631.361.4



Определение оптимальных режимов работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при скарификации

© 2023. А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин✉, В. Ю. Мокиев

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

В статье приведены сведения об особенностях устройства, качестве работы опытного образца новой более производительной (на 25...30 %) клеверотерки-скарификатора КС-0,3П в сравнении с аналогом КС-0,2П. Клеверотерка-скарификатор КС-0,3П включает вытирающе-скарифицирующее устройство барабанного типа, пневмосепарирующее устройство, двухступенчатую систему очистки отработавшего воздуха, содержащую циклон и тканевый фильтр. Повышение производительности новой машины достигается за счет увеличения диаметра барабана со сплошной вытирающей поверхностью до 0,45 м и длины деки овального типа со скарифицирующими пластинами до 0,7 м. Сплошная терочная поверхность барабана сварена из стальных прутков шестигранного профиля №12, установленных на ребро. Дека, охватывающая барабан снизу на 180°, изготовлена из прутков круглого сечения диаметром 10 мм и девяти стальных пластин толщиной 2 мм и шириной 11 мм, равномерно распределенных по длине деки. При исследовании технологического процесса клеверотерки-скарификатора использован метод математического планирования эксперимента. Качество выполненной скарификации оценивали по методикам ГОСТ 12038-84, ГОСТ 12036-85 и дополнительно введенному показателю изменения количества проросших семян. Подачу материала регулировали степенью открытия вибросаслонки в загрузочном бункере в пределах от 0,2 до 0,4 т/ч. Частоту вращения барабана изменяли частотным преобразователем от 550 до 650 мин⁻¹. Семена козлятника восточного соответствовали требованиям ГОСТ 52325-2005. Опыты проводили в трехкратной повторности. В результате экспериментального исследования клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при скарификации семян козлятника восточного определены диапазоны оптимальной частоты вращения барабана 550...650 мин⁻¹ и подачи материала 0,3...0,4 т/ч, когда обеспечиваются заданные агротехнические показатели: степень скарификации не менее 95,0 % и дробление – не более 1,5 %.

Ключевые слова: твердые семена бобовых трав, скарификация семян, частота вращения барабана, подача материала

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Определение оптимальных режимов работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при скарификации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1049-1056. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1049-1056>

Поступила: 31.07.2023

Принята к публикации: 23.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Determination of the optimal modes of operation of the clover grater and scarifier KS-0.3 P during scarification

© 2023. Aleksandr I. Burkov, Andrei L. Gluhkov, Viktor A. Lazukin✉,

Valentin Yu. Mokiev

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

The article provides information about the features of the device, the quality of work of the prototype of a new 25...30 % more productive clover grater and scarifier KS-0.3 P in comparison with the analogue KS-0.2 P. KS-0.3P includes a drum-type wiping and scarifying device, a pneumatic separation device, a two-stage exhaust air purification system containing a cyclone and a fabric filter. The increase in the productivity of the new machine is achieved by increasing the diameter of the drum with a solid wiping surface to 0.45 m and the length of the oval deck with scarifying plates to 0.7 m. The solid grating surface of the drum is welded from steel rods of hexagonal profile No. 12 mounted on an edge. The deck covering the drum from below by 180° is made of round bars with a diameter of 10 mm and nine steel plates with a thickness of 2 mm and a width of 11 mm, evenly distributed along the length of the deck. When studying the technological process of clover grater and scarifier the method of mathematic planning of the experiment was used. The quality of scarification done was evaluated using the

GOST 12038-84, GOST 12036-85 methodologies and additionally introduced indicator of variation of the number of germinated seeds. The material supply was regulated by the degree of opening of the flap in the loading hopper in the range from 0.2 to 0.4 t/h. The rotation frequency of the drum was changed by a frequency converter from 550 to 650 min⁻¹. Eastern galega seeds met GOST 52325-2005 requirements. The experiments were carried out in three-fold repetition. As a result of an experimental study of the KS-0.3P cloverworm-scarifier during the scarification of the seeds of the Eastern galega, the ranges of the optimal drum rotation speed of 550... 650 min⁻¹ and the material supply of 0.3... 0.4 t/h were determined, when the specified agrotechnical indicators were provided: the degree of scarification not less than 95.0 % and crushing not more than 1.5 %.

Keywords: solid legume seeds, scarification of seeds, drum speed, material supply

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 №FNWE-2022-0002).

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

For citation: Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazukin V. A., Mokiev V. Yu. Determination of the optimal modes of operation of the clover grater and scarifier KS-0.3 P during scarification. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):1049-1056. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1049-1056>

Received: 31.07.2023

Accepted for publication: 23.11.2023

Published online: 20.12.2023

При выращивании многолетних трав важное значение имеет полноценность посевного материала. Семена бобовых трав имеют труднопроницаемую для воды и воздуха оболочку, поэтому такие семена не прорастают в первый год и могут находиться в почве несколько лет. Количество таких семян может достигать 40 % и более [1]. Для увеличения всхожести твердых семян используют машины-скарификаторы. Эти устройства механически разрушают твердую оболочку семян, нанося на нее царапины и трещины, и поэтому семена прорастают быстрее. Скарификацию проводят в предпосевной период за 15-20 дней до внесения семян в почву [2, 3].

Существует линейка отечественных скарификаторов, применяемых в настоящее время в сельском хозяйстве: СВВ-0,2, СС-0,5, СКС-1, СТС-2, СКС-30, СК-300 [4, 5]. За рубежом также применяются скарификаторы, использующие механические принципы для разрушения твердой оболочки семян. В работе [6] лесопользователи применили для скарификации твердых семян автоматическую шлифовальную машину. Кратковременное шлифование семян в течение 5 минут определили лучшим режимом работы. Авторы статьи [7] сравнили несколько способов скарификации семян вальтерии индийской (*uhaloa*). Наибольшее практическое разрушение твердой оболочки было достигнуто с помощью механического электрического барабанного скарификатора, облицованного наждачной бумагой с зернистостью 80, в течение 15 или 30 секунд. При этом всхожесть семян повысилась до 95 и 99 % соответственно. В работе [8] представлена базовая конструкция и принцип работы пневматической машины для скарификации и посева кормовых культур типа 9BQS-3.0. Сеялка может выполнять сложную операцию скарификации, бороздования,

высева семян, укрытия почвы и выравнивания одновременно. Интенсивность скарификации семян *Elymus dahuricus* составила 63 %, доля разбитых семян – 1,2 %.

Клеверотерки и скарификаторы используются непродолжительный период в году, поэтому целесообразно совместить функции скарификации и вытирания, что позволит использовать машину в предпосевной и послеуборочный периоды. В ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» разработана и испытана клеверотерка-скарификатор КС-0,2, которая используется для получения семян из пыжины клевера и скарификации твердых семян бобовых трав в предпосевной период [9]. Тем самым отпадает необходимость приобретения в хозяйстве двух машин, и клеверотерка-скарификатор меньше времени простаивает.

Основными рабочими элементами машины КС-0,2 являются дека и барабан, которые установлены в корпусе на раме с входным и выходным патрубками. Питающее устройство состоит из бункера с ворошилкой, валиком и вибродоской. Приводится машина в действие от электродвигателя через механизмы привода, состоящие из ременных и цепной передач. Но у существующей конструкции клеверотерки-скарификатора КС-0,2 присутствует недостаток. Машину необходимо перенастраивать для использования в режимах вытирания и скарификации: менять деку, предназначенную для вытирания, на деку для скарификации. Дека для вытирания семян многолетних трав из пыжины выполнена из круглого проката (прутков), дека, устанавливаемая для скарификации твердых семян, имеет скарифицирующую поверхность из шлифовальной шкурки. Такая смена рабочих органов требует много времени и выполняется квалифицированными специалистами.

Для исключения данного недостатка клеверотерка-скарификатор КС-0,2 модернизирована [10] и разработана новая более производительная (на 25...30%) клеверотерка-скарификатор КС-0,3П [11]. В этих машинах барабанного типа применяется дека овального типа с круглыми прутками и стальными скарифицирующими пластинами. Применение данной конструкции деки позволило отказаться от деки со скарифицирующей поверхностью в виде шлифовальной шкурки. Кроме того, машина КС-0,3П имеет увеличенный диаметр барабана до 0,45 м и длину деки до 0,7 м, дополнительно снабжена пневмосепаратором для очистки обработанного материала от легких примесей. При этом сплошная терочная поверхность барабана сварена из стальных прутков шестигранного профиля №12, установленных на ребро. Дека, охватывающая барабан снизу на 180°, изготовлена из прутков круглого сечения диаметром 10 мм и девяти стальных пластин толщиной 2 мм и шириной 11 мм, равномерно распределенных по длине деки. Оптимальные параметры стальных прутков барабана и деки, а также скарифицирующих пластин приведены в работе [10].

Цель исследования – изучить влияние частоты вращения барабана и подачи материала клеверотёрки КС-0,3П на качество скарификации твердых семян, определить область оптимальных значений частоты вращения барабана и подачи материала при соблюдении агротехнических требований.

Научная новизна – определение оптимальной частоты вращения барабана и подачи материала в клеверотерку-скарификатор КС-0,3П, когда обеспечиваются требуемые показатели качества скарификации.

Материал и методы. Качество выполненной скарификации оценивали по ГОСТ 12038-84¹, ГОСТ 12036-85² и дополнительно разработанной методике [12]. Посевные качества семян при этом должны соответствовать ГОСТ Р 52325-2005³.

На рисунке 1 изображена схема работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П. Машина работает следующим образом. Семена подаются в приемный бункер 6 с установленной в нем

ворошилкой 7 с помощью подъемно-транспортного механизма или вручную. Из приемного бункера 6 под действием силы тяжести, вибросаслонки 8 и с помощью питающего валика 9 обрабатываемый материал попадает в загрузочную горловину 10. Далее семена движутся в рабочую зону – в зазор между декой 12 со скарифицирующей поверхностью и барабаном 11 с энтропной поверхностью. Вращаясь, барабан захватывает и протаскивает семена через рабочий зазор, при этом твердая оболочка семян трескается или царапается, т. е. происходит скарификация. Проскарифицированные семена через выходной патрубок 4 и загрузочное окно 14 поступают в вертикальный пневмосепарирующий канал (ПСК) 15, где разрушенные оболочки семян и пыль за счет воздушного потока, создаваемого вентилятором циклона 3, перемещаются в циклон 3 и пылеулавливающее устройство 1 (тканевый фильтр). Обработанные и очищенные от легких примесей семена поступают в приемник I. Большая часть уловленных легких примесей поступает в приемник II, а пыль – в приемник III.

Качество посевного материала оценивали до и после обработки по ГОСТ 12038-84 двумя показателями: энергия E прорастания и всхожесть B семян. Данные показатели не позволяют в полной мере оценить качество скарификации, так как в этом ГОСТе все твердые семена и проросшие с длиной ростка, превышающей длину семени, относятся к всхожим как за три дня прорастания, так и за 14 дней. Изменение количества проросших семян несущественно влияет на показатели энергии E прорастания и всхожести B семян. Поэтому были введены дополнительно следующие критерии оценки качества технологического процесса [12]: степень скарификации C , степень P изменения количества проросших семян и дробление d семян. Энергию E прорастания и всхожесть B семян контролировали при выполнении оценки скарификации. Применение совокупности этих критериев при проведении экспериментальных исследований позволяет довольно точно оценить качество выполнения скарификации.

¹ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1991. 29 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023365>

²ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Изд-во стандартов, 2011 13 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023361>

³ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. 23 с. URL: <https://fsvps.gov.ru/files/gost-r-52325-2005-nacionalnyi-standart-rossii/>

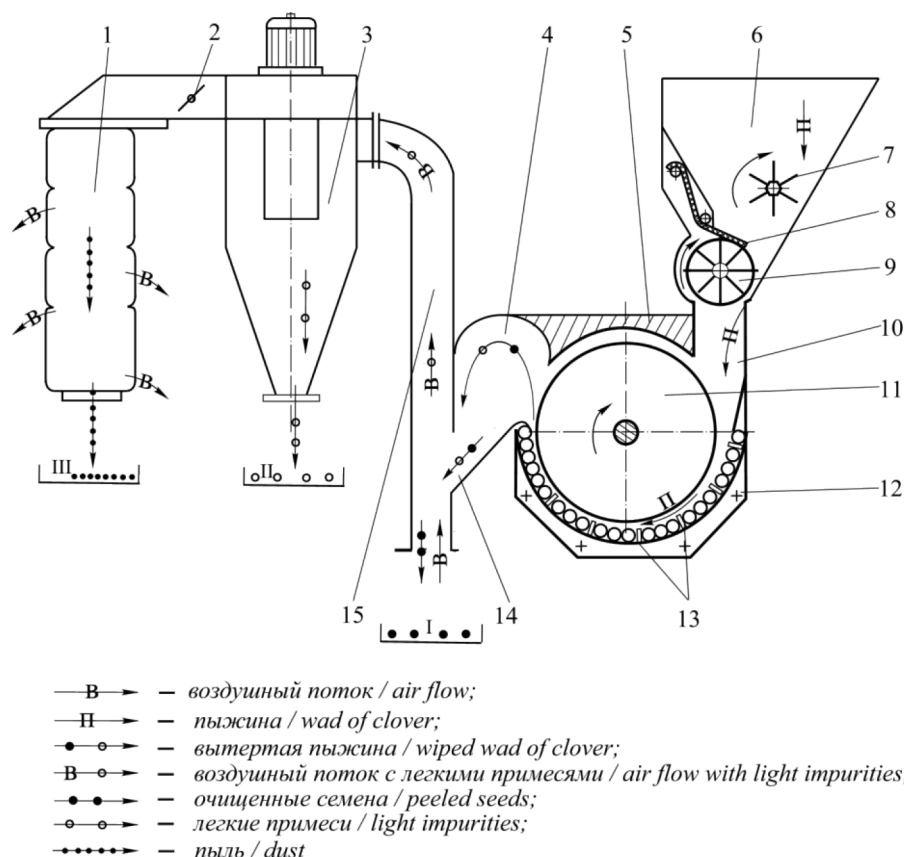


Рис. 1. Технологическая схема клеверотёрки-скарификатора КС-0,3П: 1 – пылеулавливающее устройство; 2 – дроссельная заслонка; 3 – циклон с электровентилятором; 4 – выходной патрубок; 5 – корпус; 6 – приемный бункер; 7 – ворошилка; 8 – гибкая вибросаслонка; 9 – лопастной питающий валик; 10 – загрузочная горловина; 11 – барабан со сплошной энтгранерной поверхностью; 12 – дека с овальной поверхностью; 13 – вытирающие пластины; 14 – загрузочное окно; 15 – вертикальный пневмосепарирующий канал; I, II, III – приемники соответственно обработанных семян, легких примесей и пыли /

Fig. 1. Technological scheme of the clover grater and scarifier KS-0.3 P: 1 – dust collecting device; 2 – throttle valve; 3 – cyclone with fan; 4 – outlet pipe; 5 – housing; 6 – receiving hopper; 7 – agitator; 8 – flexible vibration damper; 9 – blade feeding roller; 10 – loading neck; 11 – drum; 12 – deck with oval surface; 13 – wiping plates; 14 – loading window; 15 – vertical pneumatic separation channel; I, II, III – receivers, respectively, of treated seeds, light impurities and dust

Экспериментальные исследования проводили в следующем порядке:

1. Изначально изменяли один из изучаемых параметров скарифицирующего устройства – частоту n_0 вращения барабана или подачу q .

2. По ГОСТ 12036-85 из фракции исходных семян Ф0 брали две навески Ф1 и Ф2 каждая по 0,5 кг (рис. 2). Эту процедуру проводили перед каждым опытом.

3. Из фракции Ф1 (ГОСТ 12036-85) отсчитывали пробы П1, П2, П3, П4 по 100 семян каждая. Эти пробы использовали для прорастания семян в лабораторных условиях и дальнейшего определения качества посевного материала, в т. ч. и для определения количества твердых семян.

4. Клеверотёркой-скарификатором КС-0,3П проводили скарификацию фракции Ф2.

5. Проскарифицированный материал (Ф3) взвешивали. Из получившейся фракции отсчитывали пробы П5, П6, П7, П8 по 100 семян каждая. Эти пробы также проращивали в лабораторных условиях для определения качества посевного материала, степени скарификации S и степени $П$ изменения количества проросших семян.

6. Рассчитывали дробление семян по формуле:

$$d = \frac{m_{dc}}{m_{\phi 3}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

Количество дробленых семян m_{dc} во фракции Ф3 ($m_{\phi 3}$) рассчитывали исходя из количества дробленых семян во фракции Ф4, которая собиралась по ГОСТ 12037-81⁴ из пробы массой 20 г.

⁴ГОСТ 12037-81. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян. М.: Изд-во стандартов, 2011. 20 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023363>

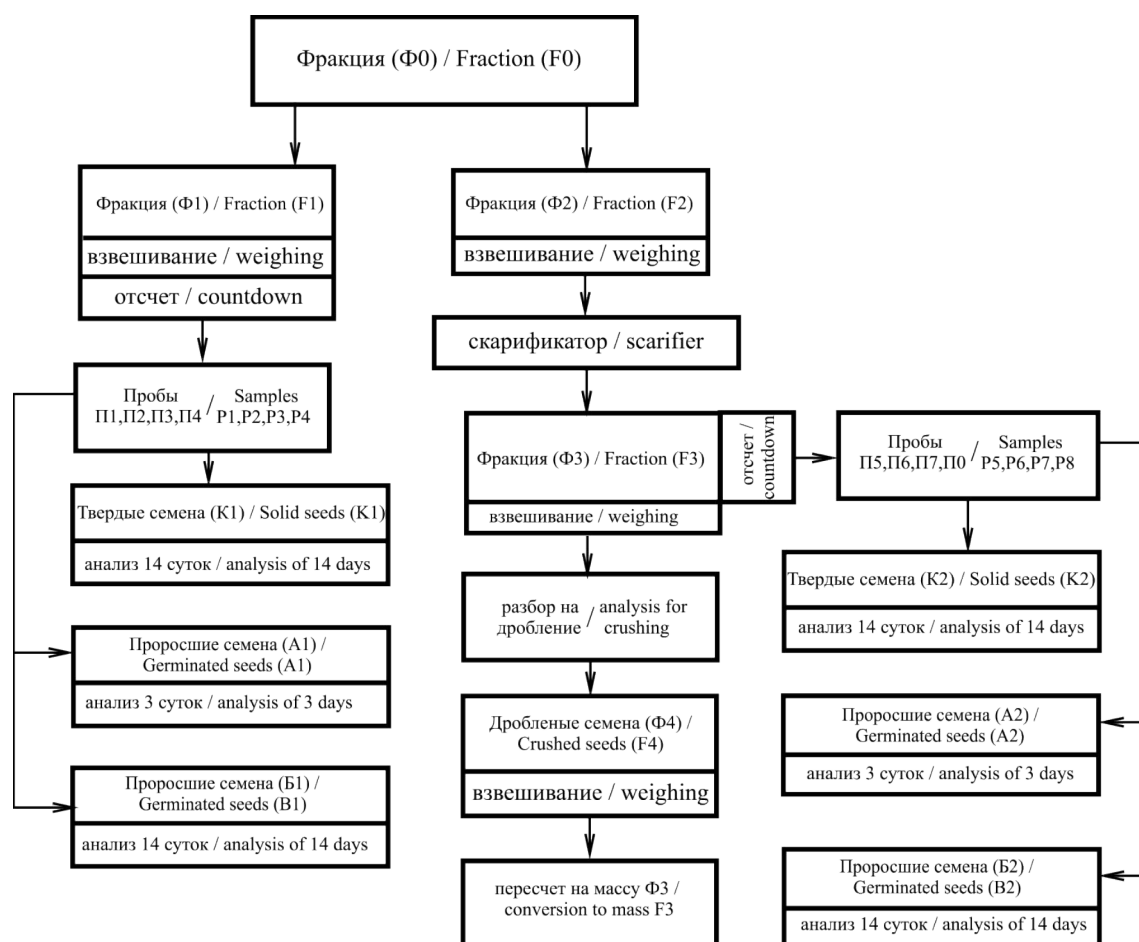


Рис. 2. Схема разбора проб для определения показателей качества скарификации /
Fig. 2. Sampling scheme for determining scarification quality indicators

По ГОСТ 12038-84 методом проращивания семян между фильтровальной бумагой (МБ) проводили определение энергии прорастания (контроль через три дня), всхожести и количества твердых семян (контроль через 14 дней). Для этого семена проб закладывали в чашки Петри между слоями фильтровальной бумаги. Затем пробы П1...П8 помещали в темное помещение с постоянной температурой 20 °С.

На протяжении всего срока анализа фильтровальную бумагу с семенами регулярно смачивали. По истечении трех суток проводили подсчет проросших семян для дальнейшего определения энергии E прорастания, определяемой по формуле:

$$E = \frac{A}{N} \cdot 100, \% , \quad (2)$$

где A – среднееарифметическое значение количества семян, проросших по истечении 3 суток в пробах П1...П4 или П5...П8, шт.,
 N – количество семян, закладываемое в каждой пробе, П1...П8, шт.

Через 14 дней снова подсчитывали проросшие семена и семена, которые не изменили внешнего вида и не проросли. Эти семена относятся к твердым. Далее проводили анализ полученных результатов проращивания семян. Достоверным результатом считалось среднееарифметическое значение количества проросших или твердых семян всех проб партии П1...П4 или П5...П8, если отклонение количества проросших или твердых семян отдельной пробы не превышало величину, допускаемую ГОСТ 12038-84, если превышало допускаемое значение, то пробу не учитывали.

Всхожесть определяли по выражению:

$$B = \frac{(B + K)}{N} \cdot 100, \% , \quad (3)$$

где B – среднееарифметическое значение общего количества семян, проросших по истечении 14 суток в пробах П1...П4 или П5...П8, шт.;
 K – среднееарифметическое значение количества твердых семян в пробах П1...П4 или П5...П8, шт.

Степень скарификации отражает изменение количества твердых семян в пробах П1...П4 и П5...П8, то есть до и после обработки соответственно:

$$C = \frac{(K_1 - K_2)}{K_1} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где K_1 – среднеарифметическое значение количества твердых семян в пробах П1...П4 до обработки, шт.; K_2 – среднеарифметическое значение количества твердых семян в пробах П5...П8 после обработки, шт.

Степень Π изменения количества проросших семян вычисляли по формуле [11]:

$$\Pi = \frac{(B_2 - B_1)}{B_2} \cdot 100, \% \quad (5)$$

где B_1 – среднеарифметическое значение количества проросших семян в пробах П1...П4 до обработки, шт.; B_2 – среднеарифметическое зна-

чение количества проросших семян в пробах П5...П8 после обработки, шт.

Результаты и их обсуждение. Исследованы режимы работы машины КС-0,3П при скарификации. В ходе однофакторных экспериментов были установлены главные факторы, влияющие на процесс скарификации – частота n_b вращения барабана, подача q исходного материала, уровни и интервалы их варьирования для проведения полнофакторного эксперимента второго порядка (табл.). Молотильные зазоры между барабаном и декой установлены постоянными: на входе – 8 мм, на выходе – 3 мм. Частоту вращения барабана изменяли частотным преобразователем от 550 до 650 мин⁻¹. Подачу материала регулировали степенью открытия вибросаслонки в загрузочном бункере в пределах от 0,2 до 0,4 т/ч.

Таблица – Факторы, уровни и интервалы их варьирования при исследовании процесса скарификации семян /
Table – Factors, levels and intervals of their variation when studying the process of scarification of seeds

Кодированное обозначение факторов / Coded designation of factors	Название факторов, их обозначение и единица измерения / The name of the factors, their designation and unit of measurement	Уровни факторов / Factor levels			Интервалы варьирования / Variation intervals
		-1	0	1	
x_1	Частота n_b вращения барабана, мин ⁻¹ / Drum n_b rotation speed, min ⁻¹	550	600	650	50
x_2	Подача q исходного материала, т/ч / Feed q of the source material, t/h	0,2	0,3	0,4	0,1

Обработка результатов проведенных опытов, отражающих качество работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П в режиме скарификации, проведена в программе Statgraphics 18.1. Получены модели регрессии дробления d

семян (%), степени C скарификации семян (%) и степени Π изменения количества проросших семян (%), адекватно описывающие реальный процесс (критерий Фишера при вероятности $p = 0,95$):

$$d = 1,69 + 0,96 \cdot x_1 - 0,51 \cdot x_2 - 0,20 \cdot x_1^2 + 0,12 \cdot x_1 x_2 + 0,28 \cdot x_2^2, \quad (6)$$

$$C = 97,28 + 2,2 \cdot x_1 + 0,27 \cdot x_2 - 1,67 \cdot x_1^2 - 0,65 \cdot x_1 x_2 + 0,83 \cdot x_2^2, \quad (7)$$

$$\Pi = 42,53 + 0,12 \cdot x_1 - 0,38 \cdot x_2 - 0,25 \cdot x_1^2 + 0,08 \cdot x_1 x_2 - 0,15 \cdot x_2^2. \quad (8)$$

На рисунке 3 приведены зависимости значений d дробления семян, степени C скарификации семян и степени Π изменения количества проросших семян при изменении частоты n_b вращения барабана и подачи q обрабатываемого материала клеверотерки-скарификатора КС-0,3П.

Анализ моделей регрессии (6)...(8) показал, что изменение подачи q обрабатываемого материала и частоты n_b вращения барабана влияет на все изучаемые критерии оценки качества выполняемого процесса скарификации.

При повышении частоты вращения барабана от 550 до 650 мин⁻¹ и при подаче исходного материала $q = 0,2$ т/ч наблюдали максимальную степень скарификации, близкую к 99,1 %. Однако при этих режимах работы машины КС-0,3П

отмечено повышенное значение дробления d , равное 3,0 %, что не соответствует заявленным в ТЗ агротехническим требованиям к качеству работы устройства в режиме скарификации.

Наименьшее дробление (менее 0,5 %) достигается при подаче семян в устройство от 0,3 до 0,4 т/ч и снижении частоты вращения барабана до 550 мин⁻¹. Степень C скарификации твердых семян при таких режимах работы КС-0,3П составила 93,5...95,2 %.

Степень Π изменения количества проросших семян во всей исследуемой области факторов составила 42,1...42,6 %. Это говорит о том, что качество посевного материала в результате скарификации не ухудшается, а наоборот повышается за счет снижения количества твердых семян.

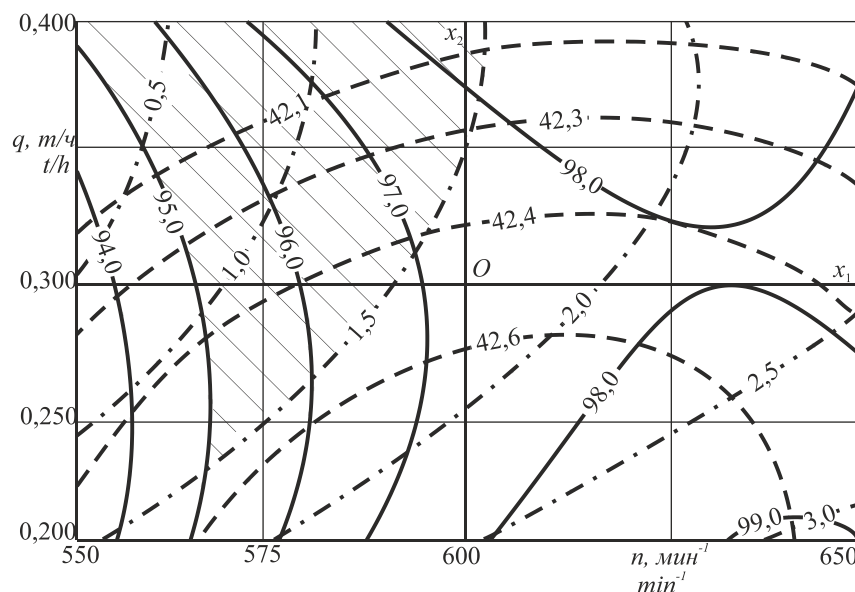


Рис. 3. Линии равных значений степени C скарификации семян (—), дробления d семян (---) и степени N изменения количества проросших семян (— · —) при изменении частоты n вращения барабана и подачи q обрабатываемого материала клеверотерки-скарификатора КС-0,3П /

Fig. 3. Lines of equal values of the degree of C scarification of seeds (—), crushing of d seeds (---) and the degree of N change in the number of germinated seeds (— · —) when changing the frequency of rotation of the drum and the supply q of the processed material of the clover grater and scarifier KS-0.3 P

Согласно техническому заданию, клеверотерка-скарификатор КС-0,3П должна обеспечивать дробление семян не выше 1,5 % и степень скарификации не менее 95,0 % при максимально возможной производительности. Этим требованиям на рисунке 3 соответствует заштрихованная область. Рекомендуемая частота вращения барабана $n_6 = 550 \dots 600 \text{ мин}^{-1}$ и подача $q = 0,3 \dots 0,4 \text{ т/ч}$. При этих режимах работы клеверотерка-скарификатор КС-0,3П обеспечивает качество скарификации семян козлятника

восточного в соответствии с агротехническими требованиями.

Заключение. Проведены исследования работы клеверотерки-скарификатора КС-0,3П при скарификации семян козлятника восточного. Определены оптимальные режимы ее работы: частота вращения барабана $n_6 = 550 \dots 650 \text{ мин}^{-1}$, подача материала $q = 0,3 \dots 0,4 \text{ т/ч}$ при обеспечении заданных агротехнических показателей: не менее 95,0 % – степень скарификации семян, не более 1,5 % – дробление.

Список литературы

1. Киселев Н. П., Кормициков А. Д., Никифорова Е. В., Прозорова И. Н., Прозоров В. А., Киселев С. Н. Вятские клевера. Киров: ГИПП «Вятка», 1995. 276 с.
2. Перспективная ресурсосберегающая технология производства семян клевера для Северного региона Нечерноземной зоны России: методические рекомендации. Киров: ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», 2015. 72 с.
3. Власов П. А. Скарификация семян многолетних трав. Достижения науки и техники АПК. 2006;(2):38-39. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=10332826> EDN: ISCYLV
4. Федоренко В. Ф. Уборка и послеуборочная обработка семян трав. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 268 с.
5. Чугунов С. В., Рожков Г. А. Обзор устройств для вытирания и скарификации семян трав. Journal of Advanced Research in Natural Science. 2020;(9):60-62. DOI: <https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-9-60-62> EDN: YFBYMN
6. Bouteiller X. P., Porté A. J., Mariette S., Monty A. Using automated sanding to homogeneously break seed dormancy in black locust (*Robinia pseudoacacia* L., Fabaceae). Seed Science Research. 2017;27(3):243-250. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258517000150>
7. Lukas S. B., DeFrank J., Baldos O. C. Optimization of Waltheria indicaseed dormancy relief treatments and seed storage parameters. HortScience. 2016;51(9):1184-1187. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10720-16>
8. Luo J., Sun J., Yang L., Wang Z., Li W., Dong Z. Design and experiment of type 9BQS-3.0 pneumatic scarifying and sowing compound operation machine. Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2013;44(Suppl):51-55. DOI: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.010>
9. Бурков А. И., Симонов М. В., Мокиев В. Ю. Клеверотёрка барабанного типа с тангенциальной подачей. Сельский механизатор. 2016;(4):12-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27261318> EDN: WYONYH
10. Бурков А. И., Симонов М. В., Мокиев В. Ю. Исследование клеверотерки-скарификатора КС-0,2 с декой овального типа при скарификации семян. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(6):74-77. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.74-77> EDN: YNQLWT

11. Бурков А. И., Глушков А. А., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Барабанная клеверотерка с пневмосепарирующим устройством. Сельский механизатор. 2020;(5-6):8-9.
12. Бурков А. И., Симонов М. В., Мокиев В. Ю. Определение показателей качества работы скарификаторов семян трав. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014;(3):19-20.

References

1. Kiselev N. P., Kormshchikov A. D., Nikiforova E. V., Prozorova I. N., Prozorov V. A., Kiselev S. N. Vyatka clovers. Kirov: GIPP «Vyatka», 1995. 276 p.
2. Promising resource-saving technology for the production of clover seeds for the Northern region of the Non-Chernozem Zone of Russia: methodological recommendations. Kirov: FGBNU «NIISKh Severo-Vostoka», 2015. 72 p.
3. Vlasov P. A. Scarification of perennial grass seeds. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2006;(2):38-39. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=10332826>
4. Fedorenko V. F. Harvesting and post-harvest processing of grass seeds. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2003. 268 p.
5. Chugunov S. V., Rozhkov G. A. Review of devices for drying and scarification of seeds of grasses. Journal of Advanced Research in Natural Science. 2020;(9):60-62. DOI: <https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-9-60-62>
6. Bouteiller X. P., Porté A. J., Mariette S., Monty A. Using automated sanding to homogeneously break seed dormancy in black locust (*Robinia pseudoacacia* L., Fabaceae). Seed Science Research. 2017;27(3):243-250. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258517000150>
7. Lukas S. B., DeFrank J., Baldos O. C. Optimization of Waltheria indicaseed dormancy relief treatments and seed storage parameters. HortScience. 2016;51(9):1184-1187. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10720-16>
8. Luo J., Sun J., Yang L., Wang Z., Li W., Dong Z. Design and experiment of type 9BQS-3.0 pneumatic scarifying and sowing compound operation machine. Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2013;44(Suppl):51-55. DOI: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.010>
9. Burkov A. I., Simonov M. V., Mokiev V. Yu. The expansion of technological capabilities of machine for extraction grass seed drum type with tangential feed. *Sel'skiy mekhanizator*. 2016;(4):12-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27261318>
10. Burkov A. I., Simonov M. V., Mokiev V. J. Research of clover-grater-and-scarificator KS-0.2 with oval type deck at seeds scarification. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(6):74-77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.74-77>
11. Burkov A. I., Glushkov A. A., Lazыкин V. A., Mokiev V. Yu. Drum clover grater with pneumatic separator. *Sel'skiy mekhanizator*. 2020;(5-6):8-9. (In Russ.).
12. Burkov A. I., Simonov M. V., Mokiev V. Yu. Determination of indicators of the quality of the scarifiers grass seed. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2014;(3):19-20. (In Russ.).

Сведения об авторах

Бурков Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

Глушков Андрей Леонидович, кандидат техн. наук, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

✉ **Лазыкин Виктор Алексеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>, e-mail: ellestar@bk.ru

Мокиев Валентин Юрьевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Information about the authors

Aleksandr I. Burkov, DSc in Engineering, professor, leading researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

Andrei L. Gluhkov, PhD in Engineering, Head of the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, 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/0000-0002-1448-9930>

✉ **Victor A. Lazukin**, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, 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/0000-0002-3910-8620>, e-mail: ellestar@bk.ru

Valentin Yu Mokiev, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, 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/0000-0002-3368-1151>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Метод испытания лубяных волокон посредством скоростного изгиба

© 2023. Е. А. Пашин¹✉, А. В. Орлов²

¹ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Кострома, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома,
Российская Федерация

В статье представлены результаты исследований, связанных с разработкой метода оценки изгибной жесткости лубяных волокон в условиях скоростного изгиба, необходимого для решения задач по импортозамещению хлопка. В отличие от стандартных испытаний усовершенствованный метод должен обеспечивать имитацию реальных механических нагрузок, имеющих место при переработке волокон и эксплуатации получаемых материалов. Для оценки изгибной жесткости волокон при скоростном прогибе предложено применить схему нагружения (соответствующую положениям теории Эйлера-Бернулли) закрепленного консольным образом образца с последующим определением совершаемой при изгибе работы и деформации при взаимодействии с маятником копра. Величину деформации образца предложено определять на основе контроля моментов времени расхождения угловых скоростей, возникающих при рабочем (в процессе испытания) и холостом перемещении маятника. Особенностью определения времени расхождения явились уточненные расчеты: угловой скорости маятника с учетом сил сопротивления его движению на холостом ходу; периодов колебаний маятника на разных этапах его перемещения в условиях взаимодействия с образцом; момента времени начала и окончания взаимодействия при изгибе образца с использованием метода дихотомии при аппроксимации значений угловой скорости; изменения угловой скорости на разных этапах его перемещения в условиях взаимодействия с образцом. Указанные уточненные расчеты явились основой обобщенного алгоритма определения деформации изгиба при взаимодействии с маятником копра, реализуемого на ЭВМ. Созданный программно-аппаратный комплекс для испытания по предложенному методу обеспечивает возможность определения затрат энергии и возникающей деформации волокон при скоростном изгибе. Обеспечивается также визуализация угловой скорости маятника. Сравнительные испытания лубяных волокон разной природы выявили различия по их изгибной жесткости. Испытывая волокна льна, крапивы и пеньки, установлены значения их изгибной жесткости, соответственно, 1,42, 2,53, 6,45 н·м². Полученные данные согласуются с общепризнанными представлениями о свойствах испытанных лубяных волокон.

Ключевые слова: испытание, лубяное волокно, изгибная жесткость, скоростной изгиб, копер, маятник, затрачиваемая энергия, деформация, программно-аппаратный комплекс

Благодарности: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-26-00147).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пашин Е. А., Орлов А. В. Метод испытания лубяных волокон посредством скоростного изгиба. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(6):1057-1066. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1057-1066>

Поступила: 23.05.2023

Принята к публикации: 24.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Testing flax fibers using high-speed bending

© 2023. Evgenij L. Pashin¹✉, Alexander V. Orlov²

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russian Federation

²Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation

The article presents a method of measuring bending rigidity of flax fiber during high-speed bending. This method is an important part of the effort to reduce the dependency on imported cotton. Unlike the standardized testing methods, the suggested approach closer imitates the conditions present during fiber processing and exploitation of fiber products. For evaluation of bending rigidity of flax fiber during high-speed bending there was used the scheme of loading (meeting the factors of Euler – Bernoulli theory) of a sample fixed in a cantilevered way with the following determination of the work done by bending and deformation by interaction with impact pendulum. The value of sample deformation was determined on the basis of the control of moments of the time of angle velocities deformation which took place by operating movement (during the tests) and free movement of the pendulum. The specific feature of determining the time of deformation were more precise calculations: of angle velocity of the pendulum considering the force of resistance to its free movement; of pendulum motion periods at different stages of its movement during its interaction with the sample; of the time of starting and finishing the interaction by sample bending using the method of dichotomy by approximation of angle velocity values; of angle velocity variation at different stages of its movement during its interaction with the sample. These more precise calculations have become the basis of generalized algorithm for determining the bending deformation by interaction with impact pendulum, done by electronic calculator. A hardware-software complex has been created that employs this algorithm to measure and visualize both sample deformation and pendulum energy loss, as well as angular velocity of the pendulum. A comparison of different kinds of natural bast fibers

has been performed – specifically, flax, nettle and hemp. The bending rigidity of these samples has been determined to be 1.42, 2.53 and 6.45 newton-mm² accordingly. These differences match the well-known properties of those materials.

Keywords: testing, bast fiber, bending rigidity, high-speed bending, pendulum, energy loss, deformation, hardware-software complex

Acknowledgements: this research has been subsidized by Russian scientific foundation (project no. 23-26-00147).

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

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

For citations: Pashin E. L., Orlov A. V. Testing flax fibers using high-speed bending. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(6):1057-1066. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1057-1066>

Received: 23.05.2023

Accepted for publication: 24.11.2023

Published online: 20.12.2023

Перспективным направлением использования лубяных волокон является получение из них короткоштапельного льняного волокна (КШЛВ) для решения задач импортозамещения хлопка, производство которого с учетом его качества на территории Российской Федерации затруднительно [1]. Поэтому ряд предприятий по переработке льна начали внедрять технологии получения КШЛВ, используя отечественное и зарубежное оборудование для механической модификации волокон льна и пеньки по длине и диаметру [2].

Важнейшей характеристикой лубяных волокон, которая в основном определяет прядельную способность КШЛВ, необходимую для текстильных производств, является изгибная жесткость¹ [3, 4].

Она связана со способностью сопротивляться изгибающим нагрузкам, возникающим при переработке и эксплуатации волокон, среди которых доминируют скоростные воздействия посредством изгиба^{2, 3, 4}. Однако существующие стандартные методы испытания лубяных волокон на изгиб реализуются в условиях статического нагружения⁵ и поэтому не соответствуют реальным взаимодействиям волокон с рабочими органами машин, применяемых на текстильных предприятиях. Это снижает прогнозирующую способность получаемых результатов. Указанное положение дел объясняет целесообразность проведения испытаний на основе скоростных воздействий, соответствующих характеру реального нагружения волокон.

Анализ использования скоростных испытаний посредством изгиба выявил методы испытания пластиков, основанных на низкоскоростном ударе^{6, 7}, а применительно к лубяным волокнам – оценку гибкости на основе взаимодействия качающегося маятника с волокнистым образцом [5]. Основным определяемым параметром в этих методах является либо энергия, затрачиваемая на деформацию образца, либо косвенно связанная с ней характеристика. Применительно к упругопластическим материалам, затрачиваемая на их деформацию энергия характеризует их ударную вязкость [6]. Для определения её величины используют маятниковый копр, с помощью которого реализуют изгибной удар по образцу, закрепленному в зажимах (рис. 1).

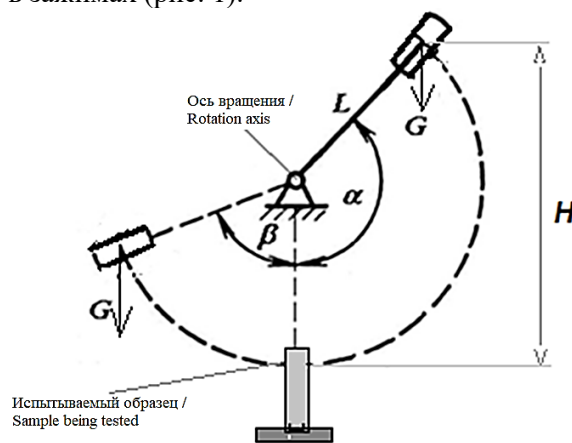


Рис. 1. Схема маятникового копра /

Fig. 1. The schematic of a pendulum-type testing machine

¹Лапшин В. В. Развитие методологических основ и автоматизированного измерительного комплекса для оценки свойств текстильных материалов: дис...д-ра техн. наук. Кострома: Костромской государственный технологический ун-т, 2020. 318 с.

²Ипатов А. М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур. М.: Легпромбытиздат, 1989. 144 с.

³Смельская И. Ф., Ильин Л. С., Жуков В. И., Кротов В. Н. Прядение льна: учеб. для студентов вузов. Кострома: Костромской государственный технологический ун-т, 2007. 544 с.

⁴Бадалов К. И., Черников А. Н., Плеханов А. Ф. Проектирование технологии хлопкопрядения: учеб. для студентов вузов. М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2004. 601 с.

⁵ГОСТ Р 53484-2022. Ленгребный: технические условия. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 15 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/779/77947.pdf>

⁶ГОСТ Р 57948-2017. Композиты полимерные. Метод определения ударной вязкости образцов без надреза. М.: Стандартинформ, 2017. 22 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740814.pdf>

⁷ASTM D 4508-06 «Standard Test Method for Chip Impact Strength of Plastics». [Электронный ресурс].

URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/10be8e1d-cb7c-4292-afe7-b2c2829b67d4/astm-d4508-06> (дата обращения: 26.10.2023).

Движение маятника копра осуществляется под действием силы тяжести G . Значение работы A определяется с учётом параметров маятника на основе разницы углов его отклонения от вертикали: при начальном положении α и после взаимодействия с образцом β . Зная вес маятника G , расстояние L от оси маятника до его центра тяжести, углы α и β , затраченная работа на деформацию (или разрушение) образца определяется по формуле:

$$A = G \cdot L \cdot (\cos \beta - \cos \alpha). \quad (1)$$

Скорость маятника V_m , м/с в момент удара по образцу зависит от высоты подъема H и рассчитывается следующим образом: $V_m = (2 gH)^{0.5}$, где g – ускорение свободного падения.

Экспериментальному изучению особенностей деформирования упругопластических материалов с использованием метода скоростного изгиба с применением копров разных конструкций уделяется значительное внимание [7]. Предложены стандартные испытания при консольном (метод Изода) и двухопорном (метод Шарпи) закреплении образца⁸. При их сравнении с учетом минимизации влияния на результат сил трения образца относительно опор для нашей задачи более предпочтительным является испытание по первому варианту.

При применении этих методов отмечают неопределенность получаемой оценки в виде энергии, затрачиваемой на деформацию образца. Дело в том, что его нагружение протекает не всегда одномоментно. Формируемая при этом работа A определяется площадью диаграммы изгиба, величина которой зависит от силы, возникающей при деформировании P и величины деформации Δ . Отсутствие информации об этих составляющих величины работы не обеспечивает должную информативность результатов испытаний. Например, исключается возможность оценки коэффициента полноты диаграммы изгиба, а также важнейшей характеристики волокон – изгибной жесткости EI .

Для частичного разрешения этой проблемы на практике предложен модифицированный вариант определения ударной вязкости, получивший название инструментированного⁹. Его использование позволяет получать дополнительную информацию о свойствах испытываемого материала. Это обеспечивается изменением

конструкции бойка маятника. Он снабжается тензодатчиком для измерения нагрузки P . Адаптация датчика с ЭВМ позволяет исследовать характер изменения P в процессе деформирования.

Определение P в условиях высоких скоростей нагружения посредством тензометрии связано с формированием погрешностей. Особенно это проявляется при испытании жестких на изгиб материалов, когда время до разрушения очень мало. Эту проблему связывают с проявлением, так называемой податливостью механических элементов, к числу которых следует относить и тензодатчик, обладающий массой и закрепленный на упругой основе. В результате возникает динамическая погрешность, зависящая от массы, собственной частоты упругого силоизмерителя, его жесткости при деформировании и времени процесса деформирования¹⁰.

Таким образом, указанный инструментированный метод испытания на ударную вязкость при консольном закреплении образца требует совершенствования в части повышения точности получаемых результатов и возможности определения комплекса важнейших свойств волокон: изгибной жесткости, совершаемой работы при изгибе с учетом характера её формирования при нагружении.

Цель исследования – повышение точности и информативности метода испытания посредством изгиба при низкоскоростном ударе по закрепленному консольным образом образцу волокон за счет определения совершаемой при нагружении работы A и деформации Δ для последующей оценки изгибной жесткости волокон EI .

Задачи исследования:

- разработка теоретических основ определения изгибной жесткости волокон посредством скоростного изгиба, определение величины деформаций при нагружении образца в процессе испытания с использованием маятникового копра;
- разработка варианта конструкции копра для определения затраченной энергии и деформации;
- экспериментальное исследование изгибных характеристик разных лубяных волокон с использованием созданного программно-аппаратного комплекса для их испытания посредством скоростного изгиба.

⁸Белевитин В. А. Измерение ударной вязкости металлов и сплавов: методические рекомендации. Челябинск: Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический ун-т, 2022. 36 с.

⁹Хотинов В. А., Фарбер В. М., Селиванова О. В., Морозова А. Н. Современные инструментальные методы исследования механических свойств. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2017. 96 с.

¹⁰Голубков В. С., Пирогов К. М., Смушкович Б. Л. Испытательные машины в текстильном материаловедении. М.: Легпромбытиздат, 1988. 208 с.

Научная новизна – установление причин, вызывающих необходимость оценки изгибной жесткости лубяных волокон на основе скоростного изгиба с использованием маятникового копра; обоснование метода определения линейной деформации (прогиба) испытываемого образца волокон посредством сопоставления угловых скоростей маятника на разных этапах его перемещения в процессе испытания; создание инструментального метода оценки изгибной жесткости лубяных волокон на основе контроля затрачиваемой при изгибе энергии и формируемой деформации.

Материал и методы. Для решения задачи по совершенствованию существующих способов испытания с применением копра предложено использовать положения теории механики деформируемого тела. В частности, «грузовую» схему с приложением силы P на свободном конце консольно закрепленной балки длиной L , положения теории Эйлера-Бернулли, теоремы Кастильяно для определения деформации упругой системы, метод нулевой фиктивной силы, а также общее уравнение для определения удельной потенциальной энергии при изгибе при условии пренебрежения энергией сдвига.

Экспериментальные сравнительные исследования проводили в период 2021-2023 гг. с использованием макетного образца копра, обеспечивающего оценку совершаемой при скоростном изгибе работы, и возникающей деформации для определения изгибной жесткости лубяных волокон разной структуры.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим «грузовую» схему с приложением силы P в точке, отдаленной от места заделки балки на расстоянии L , на её концевом участке (рис. 2).

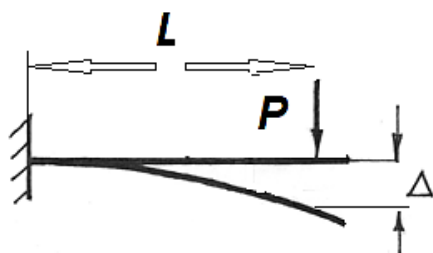


Рис. 2. «Грузовая» схема испытания волокон /
Fig. 2. A cantilever-based fiber testing scheme

Применительно к этой схеме величина прогиба участка балки Δ в месте приложения силы P определяется по формуле:

$$\Delta = (P \cdot L^2) / 3 \cdot EI. \quad (3)$$

Совершаемая работа A при прогибе балки вычисляется по выражению:

$$A = (P \cdot \Delta) / 2. \quad (4)$$

Преобразуя совместно (3) и (4) и выражая EI , получим зависимость:

$$EI = (2A \cdot L^3) / (3 \cdot \Delta^2). \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что при определении изгибной жесткости волокон EI необходимо знание формируемой при испытании работы A и деформации Δ . Применительно к определению работы A возможно использование упомянутого выше метода с применением выражения (1). Однако определение деформации Δ является нетривиальной задачей, требующей соответствующего решения.

Рассмотрим особенности взаимодействия анализируемого образца с маятником копра. Очевидно, что с момента их соприкосновения угловая скорость маятника становится меньшей по сравнению со скоростью до момента соприкосновения. Это объясняется наличием силы реакции образца на маятник. Время действия этой силы с учётом скорости перемещения маятника определяет величину деформации образца при его нагружении, поэтому важным условием является оценка угловой скорости маятника ω .

Это возможно посредством контроля угловых координат φ при вращении оси с закрепленным маятником во времени t с применением, например, цифрового датчика угловых перемещений – энкодера¹¹. Получив массив угловых координат $\varphi(t)$ и путем их дифференцирования по времени, возможно определение зависимости угловой скорости $\omega(t)$.

При таком рассмотрении процесса, величину деформации образца Δ можно оценить по моментам расхождения угловых скоростей, сформированных при рабочем (в процессе испытания) и холостом перемещениях маятника.

При холостом ходе примерные графические зависимости изменения угловых координат, скорости и ускорения будут иметь вид, представленный на рисунке 3, а. При наличии образца в условиях его взаимодействия с маятником характер изменения этих же характеристик будет иной (рис. 3, б).

Оценивая особенности изменения угловой скорости $\omega(t)$, отметим, что до момента соприкосновения с образцом характер изменения угловой скорости подобен варианту при холостом

¹¹Бушуев Д. А., Рубанов В. Г. Технические измерения и приборы. Измерение угловых перемещений и скоростей вращательного движения: методические указания. Белгород: изд-во БГТУ, 2012. 64 с.

ходе маятника. Однако после соприкосновения в момент времени τ_1 , вследствие сопротивления из-за возникающих в образце деформаций, угловая скорость снижается по определённому, зависящему от свойств образца, закону. Это происходит до потери контакта маятника с

образцом, определяемого моментом времени τ_3 . Далее маятник без сопротивления перемещается до полной остановки в момент времени τ_4 . Очевидно, что величину деформации образца возможно определять на основе знания величин τ_1 и τ_3 .

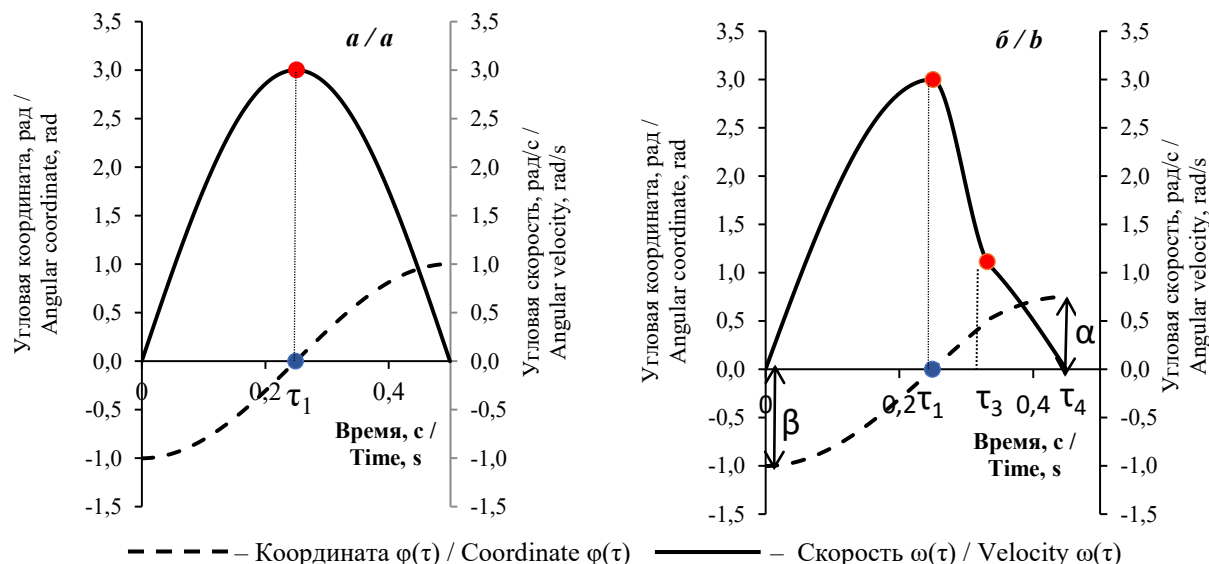


Рис. 3. Примерный характер изменения угловых координат $\varphi(\tau)$ и скорости $\omega(\tau)$ маятника копра при отсутствии (а) и наличии (б) образца /

Fig. 3. Approximate pattern of change for angular coordinate $\varphi(\tau)$ and angular velocity $\omega(\tau)$ of the pendulum without the sample (a) and with the sample (b)

Определение момента начала деформации τ_1 можно осуществлять по начальному моменту формирования разности угловой $\Delta\omega(\tau)$ между рабочим $\omega_{\text{раб}}(\tau)$ и холостым $\omega_{\text{хол}}(\tau)$ ходом маятника. Задача выявления момента времени τ_3 осложняется тем, что необходимо знать закон, по которому будет изменяться угловая скорость маятника на этапе после разрушения образца.

Примем допущение об отсутствии сопротивления от действия образца на маятник в период от τ_3 , в который угловая скорость маятника будет изменяться по гармоническому закону синуса:

$$\omega_{\text{раб}}(\tau) = V \cdot \sin\left(2\pi \frac{\tau + \phi}{T}\right), \quad (6)$$

где V – амплитуда колебаний,
 T – период колебаний, ϕ – фаза.

Используя (6), как основу, расчёт величины амплитуды V возможен с применением методики, основанной на определении полной энергии маятника после совершенной деформации образца¹². К сожалению, точное определение момента трения маятника является нетривиальной задачей, так как его величина опреде-

ляется совокупностью целого ряда сил, имеющих различную природу, как описано в [8]. Хотя существуют методы идентификации характера сил трения по установившимся автоколебаниям маятника [9], они допускают заранее известные инерционные свойства маятника, что не всегда возможно точно установить для лабораторных приборов, так как форма маятника реального копра необязательно сводится к геометрическим примитивам. Как следствие, зачастую практичнее упростить решаемую задачу допущением, что момент известен $M_{\text{копр}}$ и постоянен. Это делает возможным внесение поправки на потерю энергии маятником по известной методике [10].

Тогда выражение для определения величины V примет следующий вид:

$$V = \sqrt{\frac{2(E_k + A_{\text{мп}})}{I}} = \sqrt{\frac{2(mg \cdot L \cdot (1 - \cos \varphi_\beta) + M_{\text{копр}} \cdot \varphi_\beta)}{I}}, \quad (7)$$

где m – масса маятника, g – ускорение свободного падения, L – расстояние от оси до центра масс маятника, I – момент инерции маятника, φ_β – угол подъема маятника после разрыва,

¹²ГОСТ 34373-2017. Пластмассы. Верификация маятникового копра для испытания на удар. Испытание на ударную вязкость по Шарпи, Изоду и при ударном растяжении. М.: Стандартинформ, 2018. 33 с.
URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740781.pdf>

$M_{\text{сопр}}$ – момент сил сопротивления, не связанных с реакцией со стороны образца.

Используя выражение (6), фазу колебаний ϕ можно определить, зная период колебаний T с учетом того, что $\omega_{\text{раб}}(\tau_4) = 0$. При таких условиях основной задачей становится определение периода колебаний T . Заметим, что в условиях, когда размах колебаний маятника составляет порядка 2 рад, недопустимо применять при расчётах модель математического маятника, так как она верна только при малом размахе колебаний¹³. Поэтому целесообразно период колебаний определять путем аппроксимации значений $\omega_{\text{раб}}(\tau)$ для интервала $\tau \in [\tau_3; \tau_4]$. Применяя (6) в качестве аппроксимирующей функции $\hat{\omega}$, можно определить такое значение T , при котором ошибка аппроксимации δ данного участка будет минимальна. В качестве метрики ошибки δ предложили использовать сумму квадратов разностей между значениями данных ω и $\hat{\omega}$.

При этом важной задачей является выявление участка, подлежащего аппроксимации в условиях неизвестности границы, соответствующей моменту τ_3 . В этих целях предложено использовать более грубую оценку величины τ_3 (здесь и далее грубую оценку обозначим τ'_3). Пока оценка τ'_3 завышена, т. е. $\tau'_3 > \tau_3$, это не оказывает значительного влияния на ошибку аппроксимации δ . В то же время заниженное значение оценки τ'_3 значительно увеличивает ошибку δ , так как точки, принадлежащие участку графика $[\tau_2; \tau_3]$, не будут ложиться на аппроксимирующую кривую. Факт возникновения значительного роста ошибки аппроксимации δ предлагается использовать для определения τ'_3 .

Используя указанные исходные положения, следует выбрать начальное значение τ'_3 , а именно (с учетом результатов предварительного исследования) значение $\tau'_3 = \tau_4 - 1$ мс, которое последовательно уменьшается на 1 мс, и на каждой итерации производится аппроксимация значений $\omega_{\text{раб}}$ в интервале $[\tau'_3; \tau_4]$. После этого следует проводить сравнение текущего значения ошибки аппроксимации $\delta_{\text{тек}}$, полученное при выбранном значении τ'_3 , с предыдущим значением $\delta_{\text{пред}}$. В результате серии расчетных экспериментов было определено, что рост

значения δ на 50 % по сравнению с предыдущим отмечает выход значения τ'_3 за допустимый диапазон. Это служит сигналом для остановки процесса выявления τ_3 .

Далее, чтобы произвести аппроксимацию, достаточно определить значение периода T , так как V определяется заранее согласно (7), а значение ϕ может быть вычислено по известной величине периода колебаний T . Для этого предложено использовать метод дихотомии. Его применение обеспечивает расчет истинного значения T для аппроксимируемого участка $[\tau'_3; \tau_4]$ функции $\omega_{\text{раб}}(t)$.

Таким образом, определив оценочное значение τ'_3 , и зная значения параметров V , T , ϕ , появляется возможность для определения закона изменения $\omega_{\text{раб}}(t)$ после деформации образца. Для более точного определения момента τ_3 применяется ранее указанное условие схождения кривых. Сравнивая закон изменения скорости $\omega_{\text{раб}}(t)$ на этапе от τ_2 до τ_3 с полученной моделью (6), находим истинное значение τ_3 как момент окончания процесса взаимодействия маятника с образцом.

Алгоритм поиска и определения истинного значения τ_3 на основе использования зависимости (6) представлен в виде блок-схемы на рисунке 4.

Для экспериментальной проверки предложенного метода испытания посредством скоростного изгиба был разработан макетный образец программно-аппаратного комплекса (ПАК-Г) (рис. 5).

Конструкция включает основание 1, стойку 2 с закрепленной верхней платформой 3. На ней закреплен узел 4 для вращения оси 5 с маятником 6, на свободном конце которого имеется боёк в виде иглы 7. На маятнике также расположен зацеп 8 для фиксации положения маятника при угле зарядки α . Ось 5 скреплена с датчиком углов поворота (энкодером) 9¹⁴. На платформе 3 расположен блок 10 обработки сигналов, поступающих от датчика 9. Обработанные сигналы поступают от блока 10 посредством USB-кабеля к ЭВМ. В ней сигналы обрабатываются с конечным расчётом затраченной на деформацию образца энергии A (мДж), а также величины деформации Δ (мм), определяемой по формуле: $\Delta = L \cdot [\varphi(\tau_3) - \varphi(\tau_1)]$.

¹³Монахов В. В., Огинец О. В. Исследование колебаний маятника в поле силы тяжести: учебно-методическое пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. 24 с.

¹⁴Точность угловых энкодеров: техническая статья. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.servotechnica.ru/files/doc/documents/file-933.pdf> (дата обращения: 26.10.2023).

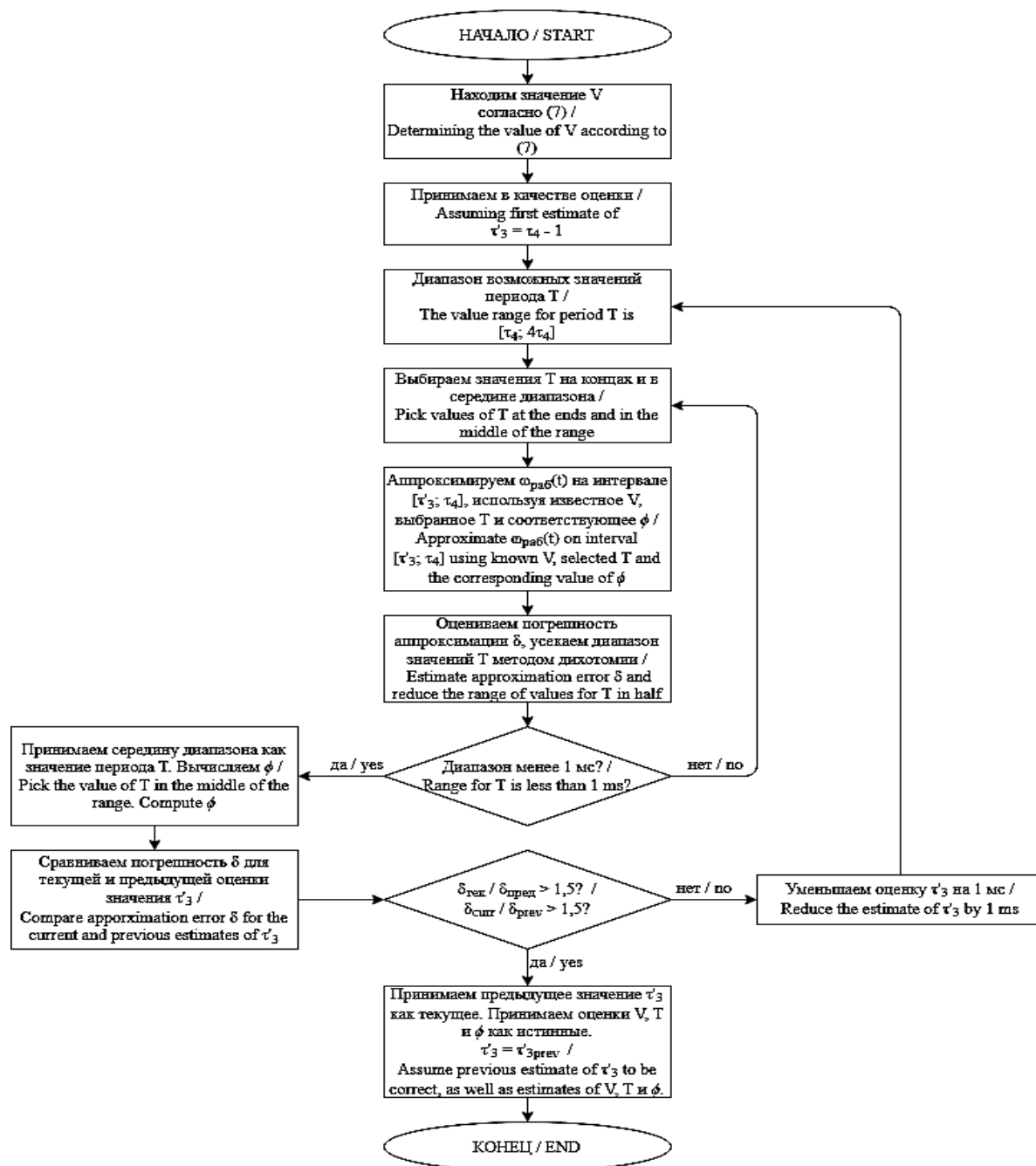


Рис. 4. Блок-схема реализации алгоритма определения времени начала и окончания деформирования /
Fig. 4. The algorithm that determines the moment when the sample begins and stops deforming

Процесс испытания реализуется следующим образом. Основание 1 устанавливают горизонтально на неподвижном столе. Образец волокна 11 закрепляют в виде консоли в зажиме 12. Длина консоли образца должна быть больше расстояния между краем губок зажима и плоскостью перемещения иглы 7. После зажима образца маятник отводят на угол зарядки α и в этом положении его фиксируют зацепом 8. Далее включают ЭВМ, а маятник освобождают из зацепления, который опускается при прохождении вертикального положения,

деформирует образец 11 посредством соприкосновения с ним иглы 7. В процессе деформации происходит фиксация во времени угловых координат положения оси с маятником. Это обеспечивается посредством использования датчика 9. Полученные сигналы от датчика поступают в блок обработки 10, а затем в ЭВМ. В конечном итоге на мониторе ЭВМ появляются значения затрачиваемой на деформацию образца энергии A (мДж), а также величины деформации образца при его прогибе Δ (мм). Кроме этого, созданный ПАК-Г позволяет

визуализировать процесс изменения угловой скорости при испытании образца. Получаемые графические зависимости при сравнительных

анализах позволяют объяснить формируемые различия затрат энергии, идущей на деформацию образцов.

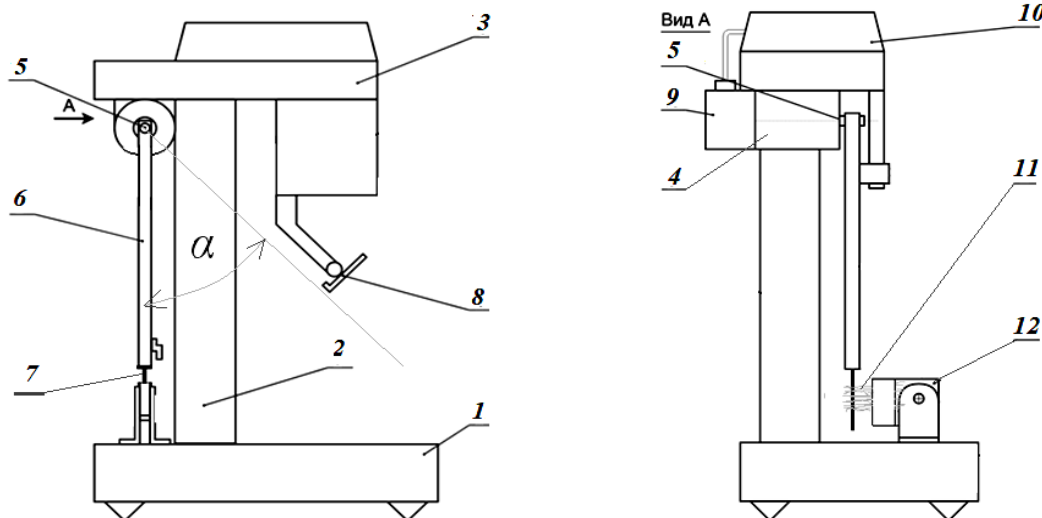


Рис. 5. Схема стенда для испытания волокон посредством скоростного изгиба: 1 – основание; 2 – стойка; 3 – платформа; 4 – узел; 5 – ось; 6 – маятник; 7 – боёк; 8 – зацеп; 9 – энкодер; 10 – блок обработки сигналов; 11 – образец волокна; 12 – зажим /

Fig. 5. The schematic of the stand for testing the fibers via high-speed bending: 1 – base; 2 – stand; 3 – platform; 4 – node; 5 – axis; 6 – pendulum; 7 – cheek; 8 – hook; 9 – encoder; 10 – signal processing block; 11 – fiber sample; 12 – clamp

При экспериментальной проверке использовали три вида лубяных волокон, выделенных из стеблей тресты льна, конопли и крапивы. Для испытания готовили образцы длиной 50 мм и массой 0,12 г. Каждый образец консольным образом закрепляли в зажим. Длина консоли составляла 12 мм, ширина образца в месте закрепления – 4 мм. Точку приложения нагрузки со стороны бойка располагали на расстоянии 10 мм от места закрепления образца в зажиме. В результате испытаний определяли указанные выше параметры: A и Δ . Полагая, что изгиб образца будет протекать согласно теории Эйлера-Бернулли, по результатам испытания получали оценку изгибной жесткости образца EI , определяемую по формуле (5). Результаты

испытаний представлены в таблице, а также в виде графических зависимостей угловых скоростей маятника (рис. 6).

Из анализа полученных данных следуют различия изгибных характеристик при нагружении волокон разных видов. При изгибе льняного волокна, как наиболее гибкого из сравниваемых, затрачивается наименьшее количество энергии. При сходных величинах деформации Δ у всех волокон из-за различий формируемой при изгибе работы изгибная жесткость льняного волокна наименьшая ($EI = 1,42 \text{ Н}\cdot\text{мм}^2$). Наиболее жесткой на изгиб оказалась пенька ($EI = 6,45 \text{ Н}\cdot\text{мм}^2$). Это хорошо согласуется с общеизвестными представлениями о свойствах лубяных волокон¹⁵.

Таблица – Сравнительные испытания лубяных волокон посредством скоростного изгиба /
Table – Comparison tests of bast fibers by high-speed bending

Вид образца / Sample type	Определяемые параметры / Parameters		
	работа, затрачиваемая на деформацию образца A , мДж / energy spent for deforming the sample A , mJ	величина прогиба образца в месте приложения нагрузки Δ , мм / deformation value at the force application point Δ , mm	величина изгибной жесткости EI , Н·мм ² / bending rigidity value EI , N·mm ²
Лен / Flax	0,15	8,4	1,42
Пенька / Hemp	0,90	9,5	6,45
Крапива / Nettle	0,41	10,4	2,53

¹⁵Крагельский И. В. Физические свойства лубяного сырья. М.-Л.: Гизлегпром, 1939. 470 с.
URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2023/10/406_1.pdf

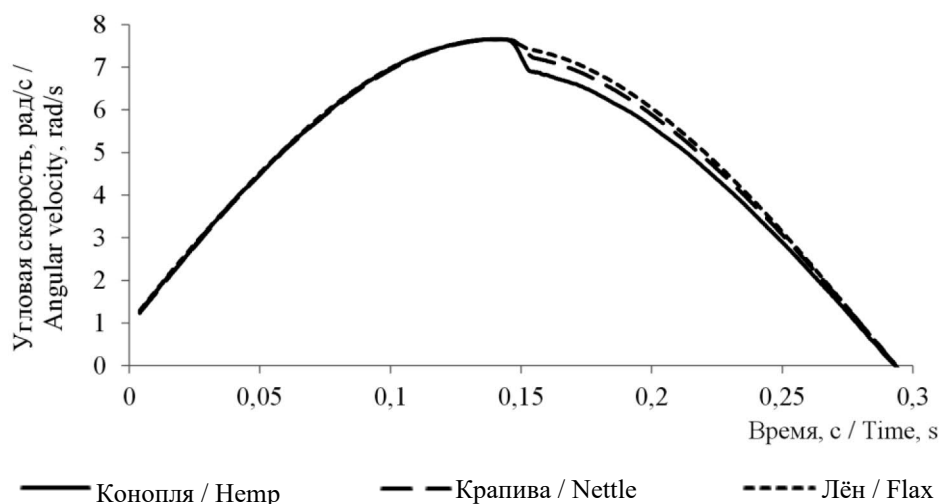


Рис. 6. Значения угловой скорости маятника для разных типов природных волокон /
Fig. 6. Angular velocity values of the pendulum for different kinds of natural fibers

Различия в затратах энергии и изгибной жесткости объясняются разным характером изменения угловой скорости маятника в период взаимодействия с образцами волокон (рис. 6). Наибольшее снижение скорости происходит при испытании пеньки, а наименьшее – у льняного волокна. Точки перегиба кривых характеризуют начало и окончание деформации образцов.

Выводы. 1. Для решения задач, связанных с импортозамещением хлопка лубяными волокнами, необходимо оценку их изгибной жесткости осуществлять посредством скоростного изгиба, как доминирующего механического воздействия при переработке волокон и эксплуатации получаемых материалов.

2. Оценка изгибной жесткости волокон при скоростном их прогибе с применением копра возможна на основе нагружения консолюжно закрепленного образца с последующим определением совершаемой при изгибе работы A и деформации Δ . Для расчета деформации Δ необходимо определение моментов времени, когда угловая скорость маятника перестает соответствовать: в момент начала деформации – скорости маятника при холостом ходе; в момент завершения деформации – гармоническому закону колебаний, выявленному посред-

ством аппроксимации участка траектории угловой скорости маятника гармонической функцией с тремя параметрами – периодом, амплитудой и фазой колебаний.

3. Для определения периода колебаний предложен метод дихотомии с последующей оценкой качества аппроксимации по метрике суммы квадратов ошибок аппроксимации. Определение амплитуды проводят по величине измеренной потенциальной энергии маятника копра в конечной точке его траектории, а фазы при известном периоде колебаний – по времени достижения маятником конечной точки траектории.

4. Созданный программно-аппаратный комплекс для испытания по предложенному методу обеспечивает возможность определения затрат энергии и возникающей деформации волокон при скоростном изгибе. Также возможна визуализация изменения угловой скорости маятника. Сравнительные испытания лубяных волокон разной природы подтвердили корректное определение их изгибной жесткости, а именно у волокна льна, крапивы и пеньки её значение соответственно равно 1,42, 2,53, 6,45 н·мм². Полученные данные согласуются с общепризнанными представлениями о свойствах этих волокон.

Список литературы

1. Гукежева М. Х. Перспективы импортозамещения хлопка в текстильной промышленности страны. Вестник Евразийской науки. 2020;12(1):36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42809624> EDN: MSCWTQ
2. Лаврентьева Е. П., Дьяченко В. В. Опыт хлопчатобумажной промышленности по переработке льняного волокна. Вестник текстильпрома. 2019:48-51. Режим доступа: https://textileexpo.ru/images/vestnik/vestnik_2019_osen.pdf
3. Новосад Т. Н., Гойс Т. О., Сташева М. А., Ломакина И. А., Лысова М. А., Грузинцева Н. А., Гусев Б. Н. Анализ состояния и направления совершенствования оценки качества текстильных материалов и изделий. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023;(4):5-24. Режим доступа: https://tp.ivgpi.com/wp-content/uploads/2023/10/406_1.pdf
4. Разин С. Н., Пашин Е. Л., Орлов А. В. Метод определения изгибной жесткости льняного волокна для его квалитетрии: обоснование алгоритма испытания. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023;(3):81-87. DOI: https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_3_81 EDN: GVMSOP

5. Пашина Л. В., Пашин Е. Л. Способ оценки гибкости волокна или луба лубяных культур: пат № 2368902 Российской Федерация. № 2008128627/12: заяв. 14.07.2008; опубл. 27.09.2009. Бюл. № 27.4 с.
Режим доступа: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&TypeFile=html&DocNumber=2368902
6. Хапёрских С. А., Ананьева Е. С. Влияние компонентного состава на ударную вязкость отвержденного полиматричного связующего. Ползуновский вестник. 2022;2(4-2):184-192. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.023> EDN: NIYNWI
7. Беклемышева К. А., Петров И. Б. Моделирование разрушения гибридных композитов под действием низкоскоростного удара. Математическое моделирование. 2018;30(11):27-43.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36455472> EDN: VMLDMT
8. Артюнин А. И., Суменков О. Ю. Учет сил сопротивления в опорах маятников при исследовании процесса автоматической балансировки роторов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019;(3):53-58.
DOI: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3\(63\).53-58](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3(63).53-58) EDN: YEJEXH
9. Васюкова О. Э., Климина Л. А. Моделирование автоколебаний управляемого физического маятника с учетом зависимости момента трения от нормальной реакции в шарнире. Нелинейная динамика. 2018;14(1):33-44.
DOI: <https://doi.org/10.20537/nd1801003> EDN: YVLVKL
10. Орлов А. В., Пашин Е. Л. Совершенствование алгоритма определения разрывного усилия волокна на разрывной машине копрового типа. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022;(1):103-107.
DOI: https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_1_103 EDN: NDZQPI

References

1. Gukezheva M. Kh. Prospects of cotton import substitution in the national textile industry. *Vestnik Evraziyskoy nauki* = The Eurasian Scientific Journal. 2020;12(1):36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42809624>
2. Lavrenteva E. P., Dyachenko V. V. Experience of the cotton industry in processing flax fiber. *Vestnik tekstil'legproma*. 2019;48-51. (In Russ.). URL: https://textileexpo.ru/images/vestnik/vestnik_2019_osen.pdf
3. Novosad T. N., Goys T. O., Stasheva M. A., Lomakina I. A., Lysova M. A., Gruzintseva N. A., Gusev B. N. Analysis of state and directions of quality assessment improvement of textile materials and products. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* = Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology. 2023;(4):5-24. (In Russ.). URL: https://tvp.uvpu.com/wp-content/uploads/2023/10/406_1.pdf
4. Razin S. N., Pashin E. L., Orlov A. V. A method of measuring bending rigidity of flax fiber during its qualimetry: determining properties of a testing algorithm. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* = Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology. 2023;(3):81-87. (In Russ.).
DOI: https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_3_81
5. Pashina L. V., Pashin E. L. Method for assessing the flexibility of fiber or bast of bast crops: Patent RF, no. 2368902, 2009. (In Russ.). URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&TypeFile=html&DocNumber=2368902
6. Khaperskikh S. A., Anan'eva E. S. Effect of the component composition on the impact strength of the cured polymatrix binder. *Polzunovskiy vestnik*. 2022;2(4-2):184-192. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.023>
7. Beklemysheva K. A., Petrov I. B. Numerical modeling of low-velocity impact on hybrid composite. *Matematicheskoe modelirovanie*. 2018;30(11):27-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36455472>
8. Artyunin A. I., Sumenkov O. Yu. Taking consideration of resistance forces in the pendulum supports when studying the process of automatic balancing of the rotors. *Sovremennyyetekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* = Modern technologies System analysis Modeling. 2019;(3):53-58. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3\(63\).53-58](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3(63).53-58)
9. Vasyukova O. E., Klimina L. A. Modelling of self-oscillations of a controlled pendulum with respect to a friction torque depending on a normal reaction in a joint. *Nelineynayadinamika* = Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2018;14(1):33-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20537/nd1801003>
10. Orlov A. V., Pashin E. L. Improvement of the algorithm for determining the disconnection fiber forces when tested on a copper type machine. *Izvestiyavysshikhuchebnykhzavedeniy. Tekhnologiyatekstil'noypromyshlennosti* = Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology. 2022;(1):103-107. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_1_103

Сведения об авторах

✉ Пашин Евгений Львович, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технические системы в АПК», ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Учебный городок, д. 34, пос. Караваяево, Костромской р-н, Костромская обл., Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5871-874X>, e-mail: evgpashin@yandex.ru

Орлов Александр Валерьевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», ул. Дзержинского, д. 17, г. Кострома, Костромская область, Российская Федерация, 156005, e-mail: info@ksu.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4995-3393>

Information about the authors

✉ Evgenij L. Pashin, DSc in Engineering, professor, professor at the Department of Technical Systems in Argo-Industrial complex, Kostroma State Agricultural Academy, Uchebnyy Gorodok, 34, Karavaevo, Kostroma Oblast, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5871-874X>, e-mail: evgpashin@yandex.ru

Alexander V. Orlov, PhD in Engineering, associate professor at the Department of Information Systems and Technologies, Kostroma State University, Str. Dzerzhinsky, 17, Kostroma, Kostroma Oblast, Russian Federation, 156005, e-mail: info@ksu.edu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4995-3393>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1067-1076>

УДК 332.36



Особенности современной институциональной среды земельных отношений в аграрном секторе

© 2023. Г. Н. Никонова✉

ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация

В статье представлены результаты исследований особенностей институциональной среды земельных отношений в аграрном секторе под влиянием таких институтов как государство и собственность, что определяет сложившуюся модель землепользования. Среди выделенных элементов институциональной среды более подробно рассмотрены становление и негативные последствия института земельных долей – своеобразной «институциональной ловушки», влияние которой трудно преодолеть до сих пор. Показан отрицательный эффект закрепления данного нежелательного института, что привело к сохранению до настоящего времени большого удельного веса бесхозных сельскохозяйственных угодий, а также другим негативным процессам при их использовании. Например, к началу января 2022 года более 40 % площади земель колхозов и совхозов, распределенных между сельскими жителями в 90-е годы, числилось в общей долевой собственности. Причем площадь земельных долей в статусе невостребованных достигала свыше 11 млн га, несмотря на достаточно активную деятельность органов местного самоуправления в этом вопросе. Отмечено, что одной из современных характеристик и последствий институциональной среды является наличие более 30 млн га неиспользуемых сельскохозяйственных угодий, в том числе из-за неблагоприятных рентных отношений. Сделан вывод о большой роли цифровизации как важнейшего элемента совершенствования институциональной среды, в первую очередь на основе формирования необходимой базы полных и достоверных данных о земельных ресурсах. Определено, что решение поставленных масштабных задач по развитию аграрного сектора и возвращению в оборот выбывших угодий будет способствовать преодолению негативного влияния дисфункциональности институтов. Отсюда значимость при реализации приоритетных направлений государственной аграрной политики таких принципов как вовлеченность и партнерство, дифференцированность, системность мероприятий и стратегий.

Ключевые слова: институты, рынок земли, земельные доли, сельскохозяйственные угодья

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема № FFZF-2022-0018).

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Никонова Г. Н. Особенности современной институциональной среды земельных отношений в аграрном секторе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):1067-1076.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1067-1076>

Поступила: 16.10.2023

Принята к публикации: 08.12.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Features of the modern institutional environment of land relations in the agricultural sector

© 2023. Galina N. Nikonova✉

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation
St. Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russian Federation

The article presents the results of research into the characteristics of the institutional environment of land relations in the agricultural sector under the influence of such institutions as the state and property, which determine the current model of land use. Among the selected elements of the institutional environment, the formation and negative consequences of the institution of land shares are considered in more detail – a kind of “institutional trap”, the influence of which is still difficult to overcome. The negative effect of consolidating this undesirable institution is shown, which has led to the preservation to this day of a large proportion of ownerless agricultural land, as well as other negative processes during their use. For example, by the beginning of January 2022, more than 40 % of the land area of collective and state farms, distributed among rural residents in the 90s, was in common shared ownership. Moreover, the area of land shares in the status of unclaimed reached

over 11 million hectares, despite the fairly active activity of local governments in this matter. It is noted that one of the modern characteristics and consequences of the institutional environment is the presence of more than 30 million hectares of unused agricultural land, including due to unfavorable rent relations. A conclusion is drawn about the great role of digitalization as a critical element in improving the institutional environment, primarily based on the formation of the necessary database of complete and reliable data on land resources. It has been determined that the solution to the large-scale tasks set for the development of the agricultural sector and the return of abandoned land to circulation will help overcome the negative impact of dysfunctional institutions. Hence the importance in the implementation of priority directions of state agricultural policy of such principles as involvement and partnership, differentiation, systematic measures and strategies.

Keywords: institutions, land market, land shares, agricultural grounds

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 St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS) (theme No. FFZF-2022-0018).

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

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

For citations: Nikonova G. N. Features of the modern institutional environment of land relations in the agricultural sector. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(6):1067-1076. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.1067-1076>

Received: 16.10.2023

Accepted for publication: 08.12.2023

Published online: 20.12.2023

Современная ситуация функционирования отечественного аграрного сектора в условиях жесткого санкционного давления, стоящие перед ним задачи по обеспечению импортозамещения на продовольственном рынке и роста объемов экспорта сельскохозяйственной продукции, закономерно ведут к возрастанию роли земельных ресурсов, несмотря на значимость технологий и других факторов производительности в АПК [1]. Актуальность проблемы существенного повышения уровня эффективности использования сельскохозяйственных угодий, как основы реализации внутреннего потенциала развития сельских территорий [2, 3, 4], также связана с вопросами достижения параметров динамики развития национального сельского хозяйства, установленных в документах долгосрочного планирования. Например, в «Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года №2567-р, один из целевых показателей предусматривает обеспечить в 2030 году индекс производства продукции в агропромышленном комплексе (в сопоставимых ценах) в размере 129,7 % к уровню 2020 года. В результате это предопределяет значимость поиска ответа на вопрос: насколько сложившаяся институциональная среда, в частности, в сфере земельных отношений, будет способствовать или сдерживать реализацию амбициозных государственных целей развития АПК.

В сформировавшейся модели земельных отношений в аграрном секторе проявляются все особенности и последствия их рыночного и государственного регулирования, что форми-

рует определенную институциональную среду. В итоге она становится отдельным объектом научного анализа, который дает возможность раскрыть природу институциональных изменений для выработки решений по оценке и упреждению рисков, не позволяющих поддерживать нормальный воспроизводственный процесс в сельском хозяйстве при существующих возможностях и ограничениях в землепользовании.

В качестве ключевой темы это обсуждалось автором еще более 15 лет тому назад [5], когда шла реализация такой важнейшей инновации в судьбе отечественного аграрного сектора как Приоритетный национальный проект «Развитие АПК» (2006-2007 годы), инструменты которого затем стали действовать в Государственных программах развития сельского хозяйства на 2008-2012 годы и 2013-2020 годы.

За прошедший после этого период произошли принципиальные изменения в государственной аграрной политике и функционировании аграрного сектора экономики, принято много документов стратегического уровня, в том числе Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства до 2025 года, Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации до 2030 года. В рамках Государственной программы развития сельского хозяйства реализуется федеральный проект «Создание условий для независимости и конкурентоспособности отечественного агропромышленного комплекса» и другие, которые закладывают фундамент устойчивости в развитии агропромышленного комплекса страны.

Однако из-за сохранения ряда существовавших ранее негативных факторов, в т. ч. «неэффективной структуры собственности, неупорядоченности имущественных отношений...» [5, с. 157], при нарастании новых внешних рисков производственной деятельности в АПК в условиях глобального геополитического противостояния с Западом, сохраняет свою актуальность задача «... целенаправленно бороться с очагами убыточности в сельском хозяйстве, так как они носят и продуктовый, и территориальный характер. Нужен план модернизации отсталых хозяйств и отраслей, чтобы неэффективное производство не осталось за рамками программы возрождения сельской местности» [5, с. 159].

Цель исследования – рассмотрение особенностей современной институциональной среды земельных отношений в аграрном секторе для оценки перспектив повышения уровня эффективности использования сельскохозяйственных угодий как существенного фактора устойчивого развития сельского хозяйства.

Научная новизна – на основе приложения институциональной экономической теории проведен анализ причинно-следственных связей, определяющих своеобразие сложившейся модели земельных отношений в аграрном секторе под влиянием неэффективных, но устойчивых норм и правил.

Материал и методы. Исследования проводили с использованием статистических данных Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Применяли методы статистического анализа обработки информации для измерения абсолютных и относительных данных, в качестве технических средств использованы программные продукты Microsoft Office и Excel.

Результаты и их обсуждение. Известный представитель институциональной теории, лауреат Нобелевской премии по экономике за 1993 год Дуглас Норт характеризовал институциональную среду как «совокупность основополагающих политических, социальных и юридических «правил игры» [6, с. 17], то есть созданных человеком ограничительных рамок – институтов. Институты «влияют на экономический процесс тем, что оказывают воздействие на издержки обмена и производства. Наряду с применяемой технологией они определяют трансакционные и трансформационные (производственные) издержки, которые в совокупности составляют общие издержки производства... и, следовательно, определяют рентабельность и привлекательность той или иной экономической деятельности» [6, с. 20-21].

Земельные отношения представляют собой сложную систему функционирования институтов: рынка, государства, собственности, ренты и других, в результате действия которых реализуются правовые, имущественные, финансовые, экономические отношения и регуляторы по поводу владения, пользования и распоряжения земельными ресурсами. Поэтому институциональную среду земельных отношений можно охарактеризовать как совокупность внешних и внутренних факторов, выступающих под влиянием институтов в качестве правил, ограничений и стимулов, что в итоге определяет модель и уровень эффективности землепользования.

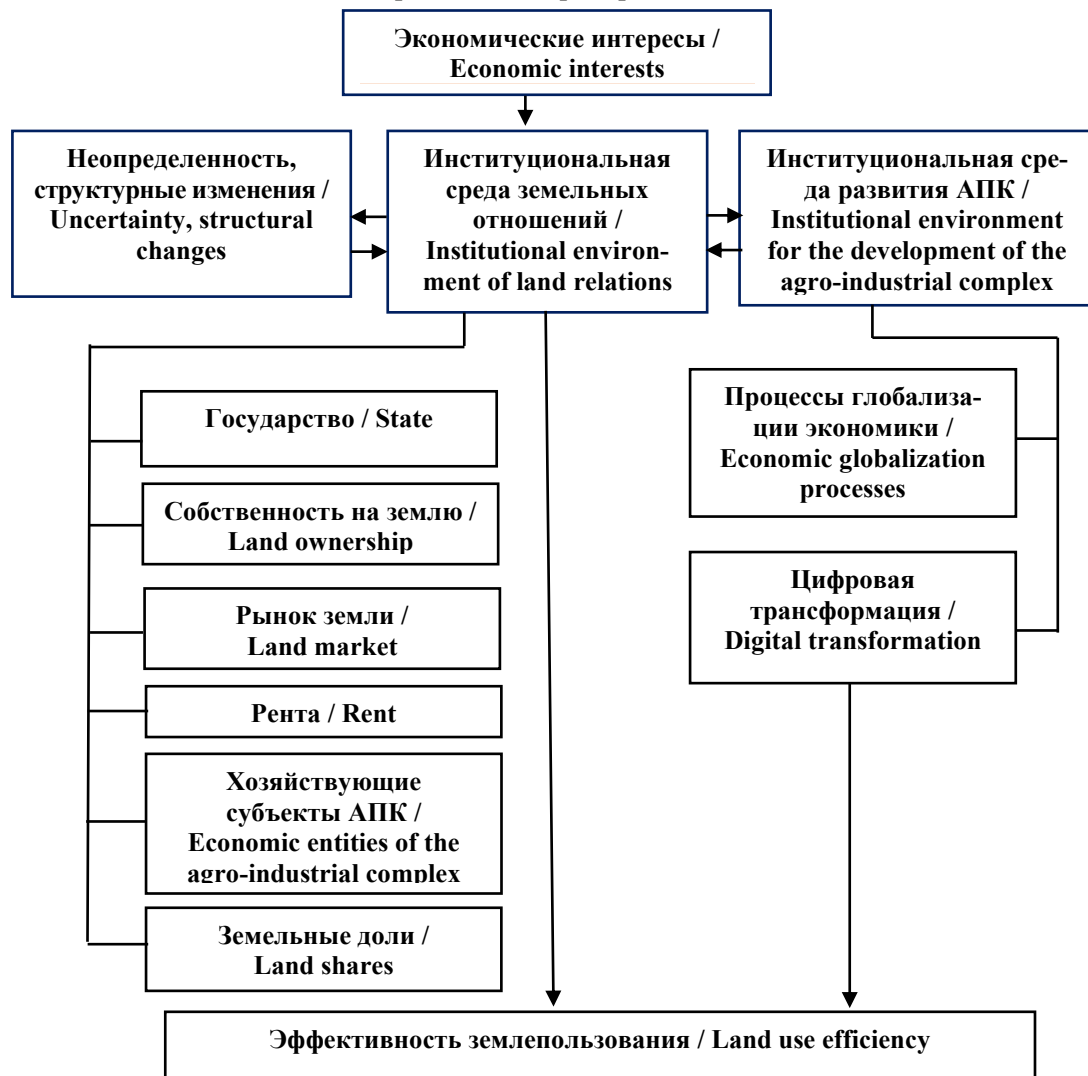
Необходимо подчеркнуть, что институциональная среда земельных отношений, во-первых, включена в общую институциональную среду, в которой функционирует АПК страны. Во-вторых, институты в сфере земельных отношений, т. е. стимулы и ограничения по поводу распределения и использования земельных ресурсов, определяют складывающиеся структурные особенности, в зависимости от доминирования экономических интересов того или иного субъекта земельных отношений: физического лица, коллектива, государства или общества в целом. Отсюда соответствующая роль формальных или неформальных правил, нормативно-правовой базы, рыночной инфраструктуры и других. Среди них, безусловно, большое значение имеют такие институты, как государство, собственность, рынок, рента, хозяйствующие субъекты (рис.).

Особенностью современной институциональной среды является ее высокий уровень неопределенности, ощущаемой субъектами агропродовольственной системы при принятии решений в отношении различных аспектов своей деятельности, в т. ч. масштабов землепользования или инвестирования в новые проекты. Анализ степени этой неопределенности имеет важное значение для прогнозирования темпов ввода земель в оборот, освоения цифровых технологий в сфере землепользования и т. д.

Трактовка неопределенности, согласно подходам Д. Норта, Ф. Найта и Дж. М. Кейнса, означает невозможность предсказать будущий исход процессов и результат. Д. Норт, рассматривая трансформацию неопределенности в риск, отмечал: «Под неопределенностью я понимаю такие условия, когда человек неспособен предвидеть будущее и потому не в состоянии выработать такую линию поведения, которая могла бы предотвратить наступление нежелательного события. Риск, напротив, предполагает, что человек видит возможность нежелательного

события и способен предпринять действия, снижающие его вероятность» [6, с. 161]. Отсюда роль институтов в смягчении последствий неопределенности для обеспечения мотивации сельскохозяйственных товаропроизводителей. Причем очень большое значение имеют правила,

от которых зависит степень надежности защиты прав собственности и контрактных отношений. Так, если институт государства недостаточно защищает права собственников земли, то повышается степень неопределенности будущего для предпринимателей в сельском хозяйстве.



*Рис. Основные элементы современной институциональной среды земельных отношений /
Fig. Basic elements of the modern institutional environment of land relations*

Поэтому оценка характеристик институциональной среды может проводиться по двум позициям: анализу всей системы институтов, влияющих на экономические процессы в аграрном секторе, или же какого-то одного из них. Применительно к земельным отношениям, например, очень важно рассматривать роль регулирования отношений собственности со стороны государства, как ведущего института в данном случае, от которого зависит уровень транзакционных издержек, выступающий индикатором эффективности институциональной среды.

Следовательно, анализируя институциональную среду, требуется выявить как воздей-

ствие ряда институтов, так и сущность наиболее значимого из них для условий соответствующей экономической ситуации. Это позволит диагностировать «качество» конкретного института, что, по мнению Е. В. Попова и других авторов, связано с его эффективностью [7]. В данном аспекте можно сослаться и на подход О. С. Сухарева о дисфункциональности институтов, которая проявляется в их «институциональной неэффективности» [8]. В дальнейшем это ведет к возникновению такого негативного явления, как «институциональная ловушка». Об «институциональных ловушках», т. е. обнаружении в какой-либо социально-экономи-

ческой системе действия неэффективных, но устойчивых норм и правил, впервые отметил академик В. М. Полтерович [9].

Действительно, дисфункциональность института государства при проведении рыночных преобразований привела к развитию в земельных отношениях устойчивого института аналогичного типа, причиной появления которого стали земельные доли граждан, образовавшиеся в процессе аграрной реформы 90-х годов как переходная форма от государственной собственности на землю к частной. Поэтому в 1992-1993 годах в рамках реорганизации сельскохозяйственных предприятий происходило разделение имущества и сельскохозяйственных угодий колхозов и совхозов между их работниками (включая пенсионеров) и сельскими жителями, являющимися в границах хозяйства, представителями социальной сферы села (учителя, врачи, сотрудники детских учреждений и др.). В результате в собственность 12 млн человек, которые стали владельцами земельных долей, безвозмездно перешли 115 млн га земель, причем в статусе коллективно-долевой собственности, т. е. без выделения на местности земельных участков в конкретных границах и без постановки их на кадастровый учет.

Однако владельцы земельных долей, как новые субъекты земельных отношений, вопреки романтическим ожиданиям инициаторов реформ по «шоковому» варианту, не стали активно их включать в воспроизводственный процесс [10]. Поэтому, даже к началу 2000 годов почти половина от общего количества полученных сельскими жителями земельных долей продолжала использоваться бывшими колхозами и совхозами, около 20 % всех земельных долей было внесено владельцами в уставные капиталы, как правило, своих сельскохозяйственных организаций. Только лишь около 3 % от общего числа долей было использовано для организации деятельности в статусе фермерских хозяйств или личных подсобных хозяйств населения. Оставшаяся часть земельных долей, особенно принадлежащая лицам пенсионного возраста, оказалась никак не задействована в формах распоряжения ими, что при нарастании кризисных явлений в отрасли и банкротстве сельскохозяйственных организаций стало формировать такой их тип как невостребованные.

Несмотря на предпринимаемые меры по активизации земельного оборота, на начало 2006 года из 112 млн га общей площади земельных долей право распоряжения ими было осуществлено лишь на 84,7 млн га, что составляло 75,8 % их площади, но в разрезе отдельных

субъектов Федерации эти показатели были намного меньше, где невостребованные земельные доли достигали от 20 до 50 % всей площади сельскохозяйственных угодий. Например, в Северо-Западном федеральном округе владельцы долей распорядились ими к этому времени на площади 2,3 млн га (57,5 %), т. е. практически половину площади сельскохозяйственных угодий региона представляли невостребованные земельные доли граждан.

Складывающаяся ситуация наличия значительных площадей сельскохозяйственных угодий в общедолевой собственности, которые оказались ничейными и бесхозными, по понятной причине привела к внесению 29 декабря 2010 года изменений в Федеральный закон «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» от 24.07.2002 № 101-ФЗ и дополнению его статьи 12 отдельным пунктом о невостребованных земельных долях. Согласно положениям Закона, невостребованной может быть признана земельная доля, собственник которой не передал ее в аренду или не распорядился ею иным образом в течение трех и более лет подряд. Поэтому по месту расположения невостребованных земельных долей определялись функции и задачи органов местного самоуправления поселения, которые должны были подготовить и опубликовать в средствах массовой информации или на своем официальном сайте в сети Интернет список невостребованных земельных долей. Далее общему собранию участников долевой собственности в течение 4 месяцев со дня опубликования данного списка следовало принять решение по вопросу об этих невостребованных земельных долях. Если общее собрание участников не принимало никакого решения, то орган местного самоуправления по месту расположения земельного участка, находящегося в долевой собственности, вправе был обратиться в суд с требованием о признании права муниципальной собственности на земельные доли, признанные невостребованными. После этого обязанностью органов местного самоуправления являлось установление границ земельного участка из этих долей, постановка его на кадастровый учет и регистрация в Росреестре.

Следовательно, внесенные очередные законодательные поправки в нормативные акты в части оборота земель сельскохозяйственного назначения способствовали активизации процесса признания невостребованных земельных долей муниципальной собственностью. Данными поправками делался шаг вперед в попытке решить проблему значительных массивов земли

на самом деле в ничейной собственности, поскольку конкретизировались основания для принудительного их изъятия и прекращения прав на землю.

Это, безусловно, было связано с усилением остроты проблем землепользования из-за развития процессов деградации почв неиспользуемых сельскохозяйственных угодий, зарастания их кустарниками, увеличения случаев появления свалок и карьеров на пашне, в целом ухудшения экологической обстановки в сельской местности. Причем в условиях реализации уже второй Государственной программы развития сельского хозяйства росла потребность в земельных ресурсах со стороны эффективных собственников, но земельные доли выступали тормозом для расширения рыночного оборота сельскохозяйственных угодий. Следовательно, требовалось побудить собственников невостребованных земельных долей предпринять предусмотренные законом действия по распоряжению ими в целях более эффективного вовлечения земли в хозяйственное использование и в целом упорядочения земельных отношений в аграрном секторе.

Однако многие попытки перехода от института земельных долей к собственности на земельные участки, включая законодательное установление обязанности владельцев земельных долей в срок до 1 июля 2012 года провести межевание и зарегистрировать право собственности на земельные участки, не были успешными. Согласно данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации¹, в 2016 году около 86 млн га, или 78 % общей площади земель, находящихся в частной собственности граждан продолжали оставаться в статусе общей долевой собственности. За 2016 год, было оформлено земельных участков в счет земельных долей на площади 7,1 млн га, в т. ч. участков, имеющих подготовленные проекты межевания – на площади 6,5 млн га. Между тем, на практике в ходе выдела земельных долей, кроме длительности процедуры и больших затрат средств, обнаруживались будущие проблемы землепользования: чересполосица и другие нарушения требований землеустройства, разрушение системы севооборотов сельскохозяйственных организаций, которые обрабатывали эти земли и т. д.

В решении данной задачи повышалась роль органов местного самоуправления, в результате на 1 января 2017 года в списки невостребованных долей они были внесены на площади 18,5 млн га, а право муниципальной собственности на земельные доли, признанные невостребованными, было зарегистрировано на площади 5,5 млн га, причем на площади 2,9 млн га они были образованы в земельные участки. В результате на 1 января 2017 года в муниципальной собственности находилось 11,4 млн га земель сельскохозяйственного назначения², что создавало возможность пополнения муниципальных бюджетов. Также данные процессы способствовали упорядочиванию судьбы земельных долей и вовлечению в хозяйственный оборот неиспользуемых сельскохозяйственных угодий.

Несмотря на достигнутые результаты, сложность и масштабность стоящих задач по преодолению последствий влияния института земельных долей привели к тому, что, по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации³, на 1 января 2022 года в общей долевой собственности все еще находилось 43,7 млн га земель, или более 40 % их площади, распределенной по долям 30 лет тому назад. При этом по земельным участкам на площади 16,5 млн га (37,7 %) нет сведений в государственном кадастре недвижимости, а проекты межевания подготовлены только на площади 4,1 млн га. Наибольший удельный вес площади земельных участков в долевой собственности, не поставленных на кадастровый учет для последующей регистрации права собственности, приходится на Северо-Западный федеральный округ (64,4 %), Сибирский (62,5 %), Дальневосточный (55,2 %) и Уральский федеральный округ (51,8 %).

При этом Северо-Западный и Дальневосточный федеральные округа отличаются наименьшей площадью образованных в 2021 году земельных участков в счет долевой собственности – 28,5 и 59,8 тыс. га соответственно, а из находящихся в долевой собственности земельных участков общей площадью 1,8 млн га – в СЗФО и 2,9 млн га – в Дальневосточном федеральном округе, но проекты межевания подготовлены на 13,9 и 60,8 тыс. га соответственно, что составляет 0,3 и 1,5 % по отношению к общему итогу в целом по Российской Федерации.

¹Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. М.: Росинформ-агротекс, 2018. С. 26, С. 30.

²Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2016 году. М.: Росинформагротекс, 2018. С. 201, С. 207.

³Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М.: Росинформагротекс, 2022. С. 30, С. 253-257, С. 258-261.

Следует также констатировать сохранение до сих пор большого количества не востребо-ванных земельных долей, площадь которых на 1 января 2022 года достигала 11,3 млн га, из них были признаны по суду муниципальной собственностью за 2021 год на площади 1,7 млн га, или равной 15 %. Причем, например, в СЗФО из включенных в списки не востребованных долей на площади 907,4 тыс. га в 2021 году по суду к муниципальной собственности отошло всего 11,8 тыс. га (1,3 %), Дальневосточном федеральном округе – 25,6 тыс. га (1,4 %), в Южном – 10,4 %, Сибирском – 10,5 %, Северо-Кавказском – 10,7 %, Центральном – 11,1 %, Уральском – 22,6 %, Приволжском – 28,1 %⁴.

Благодаря работе органов местного самоуправления регионов за 5 лет с 2016 по 2021 год, после уточнения в списки не востребованных были включены земельные доли на площади 88,4 млн га, а площадь образовавшихся участков в счет земельных долей за 2021 год была выше прошлогоднего уровня на 300 тыс. га, тем не менее фактические параметры наличия земельных долей указывают на большую трудоемкость работ и актуальность ее продолжения в перспективе.

Следовательно, на основе вышеизложенного можно сделать вывод, что формирование такой «институциональной ловушки», как земельные доли, проблемы существования которой не удастся решить до сих пор, указывает на качественную особенность институциональной среды земельных отношений. Земельные доли – своеобразный промежуточный институт оказался доминирующим фактором, способным, с одной стороны, создавать условия для развития рынка земли. Но, с другой стороны, вел к разрушению самого института собственности на землю, так как сельскохозяйственные земли оказались фактически без реального собственника, при этом владельцы долей без оформления их в земельные участки не выступали полноправными собственниками. Одновременно, как случилось на практике, выделение в счет долей земельных участков, получение правоустанавливающих документов сопряжено для владельцев долей с множеством проблем организационного, финансового и правового плана.

В качестве критерия неэффективности института собственности из-за феномена института земельных долей можно определить рост трансакционных издержек на оформление

полноценного права собственности и затраты на контроль «поведения» владельцев долей, что как было показано выше:

- вызывало необходимость постоянного внесения различных дополнений в нормативные акты, регулирующие оборот земель сельскохозяйственного назначения;

- отвлечения специалистов органов местного самоуправления от реализации своих основных функций – в целях участия в решении проблем не востребованных земельных долей (составление списка их владельцев, оформление в муниципальную собственность и т. д.);

- необходимость увеличения издержек на осуществление со стороны Россельхознадзора и других структур контроля за использованием собственниками сельскохозяйственных угодий.

Общим же показателем неэффективности институтов выступает высокий удельный вес сельскохозяйственных угодий в «ничейной» собственности, ведущий к их выбытию из хозяйственного использования. Вот почему при анализе институциональной среды необходимо учитывать подходы В. М. Полтеровича [9] об «эффектах» закрепления «институциональной ловушки», ее сопряженности с другими нормами и процессами.

Действительно, земельные доли являлись причиной увеличения площади неиспользуемых земель в сельском хозяйстве, между тем их медленное преобразование в земельные участки, как предмет оборота сельскохозяйственных угодий, также находилось под влиянием нарастания кризисных явлений в аграрном секторе в ходе рыночных преобразований.

Наличие неиспользуемых земель отражает как одну из современных характеристик институциональной среды земельных отношений, так и следствие ее влияния, в сочетании с особенностями в целом институциональной среды развития АПК – на фоне развития процессов глобализации экономики, проявляющихся на национальном, мезо- и микроуровнях. Их эффекты усиливаются в условиях особенностей действия института ренты в аграрном секторе, что ведет к наличию значительных площадей безрентных земель, которые выбывают из оборота или переводятся в другие категории вследствие неблагоприятных межотраслевых пропорций. Так, по данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации⁵,

⁴Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. 2022. С. 258-261.

⁵Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2016 году. 2018. С. 212-217.

на 1 января 2017 года площадь неиспользуемых земель достигала в целом по Российской Федерации 31,5 млн га, в том числе, например, в Псковской области – 70 % от их общей площади, Новгородской – 56 %, Кировской области – 50 % и лишь в 20 регионах удельный вес неиспользуемых угодий был менее 10 %, а все сельскохозяйственные угодья использовались только в 6 субъектах Федерации.

Несмотря на усиление мер государственной поддержки АПК, через 5 лет, на 1 января 2022 года площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий составляла свыше 30 млн га, в том числе пашни – более 18 млн га. Причем в 12 регионах выбывшие угодья превышали 50 % их общей площади, в 13 регионах было более 50 % заброшенных пахотных земель. Наиболее высокий удельный вес неиспользуемой пашни приходится на Северо-Западный (около 51 % ее общей площади, в т. ч. Псковская область (62,5 %)) и Дальневосточный федеральный округ (33 % к ее наличию)⁶.

На основе результатов группировки регионов Европейской части страны по уровню рентного потенциала [11] – с высоким (1-ая группа), средним (2-ая группа) и низким (3-я группа) видно, что по сравнению с уровнем 1990 года, посевные площади сократились в первой группе до 2006 года (т. е. до начала реализации ПНП «Развитие АПК», во второй – до 2010 года, т. е. до середины периода реализации Государственной программы развития АПК. В третьей группе регионов, где незначительный рентный потенциал, уменьшение площади посевов продолжалось до 2015 года, когда шла реализация уже второй Госпрограммы на 2013-2020 годы, после чего начался их устойчивый рост. Между тем, в ряде регионов, например, Северо-Западного федерального округа из-за наиболее низкого рентного потенциала земель, происходит сокращение посевной площади, даже в условиях реализации очередных программ развития сельского хозяйства.

Сложившаяся ситуация выступает как сдерживающий фактор в увеличении объемов производства продукции АПК, так и создает перспективы для его роста на основе освоения имеющихся свободных земель и повышения эффективности их использования. За 2021 год общая площадь вовлеченных в оборот сельскохозяйственных угодий составила 5,5 % площади неиспользуемых земель, или 2,8 млн га. В то же время в условиях Северо-Запада и Урала, удельный вес возвращенных угодий

был равен всего 0,9 и 2,0 % соответственно к площади неиспользуемых земель. Темпы ввода этих земель в оборот связаны со значительными затратами финансовых ресурсов, что в расчете на 1 га составляет, например, для условий СЗФО от 50 до 220 тыс. руб.

Следовательно, в целях достижения намеченных показателей Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельхозназначения и развития мелиоративного комплекса до 2030 года приоритетными объектами государственного регулирования должны выступать существующие особенности институциональной среды:

- сохранение значительных массивов земельных ресурсов в статусе земельных долей, не трансформированных в земельные участки и не зарегистрированных в собственность;
- недостаток необходимых сведений о местоположении, площади, собственниках неиспользуемых земель, включая не востребовавшие земельные доли;
- последствия нецелевого использования сельскохозяйственных угодий;
- незавершенность процесса разграничения неиспользуемых земельных ресурсов, находящихся в государственной собственности по формам собственности (федеральная, собственность субъектов Российской Федерации и муниципальная);
- проблемы землеустройства, обеспечения полноты и достоверности информации о качественном состоянии сельскохозяйственных угодий и т. д.

Отсюда роль цифровизации, которая выступает важнейшим элементом институциональной среды земельных отношений. В настоящее время в рамках ведомственного проекта МСХ РФ «Цифровое сельское хозяйство» реализуются подсистемы «Цифровое землепользование» и «Умное поле», формируется интегрированная интеллектуальная система планирования и использования земель сельскохозяйственного назначения на основе цифровых, дистанционных, геоинформационных технологий и методов компьютерного моделирования, продолжается наполнение Единой информационной системы земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН). Это позволит наладить сбор и обработку больших массивов данных о земельных участках, собственниках, видах права, степени эффективности использования земель и многих других их характеристик.

⁶Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. 2022. С. 262-265.

Цифровая трансформация системы управления земельными отношениями в целом сдерживается из-за проблем, связанных с ведомственной разобщенностью государственных информационных ресурсов, в которых содержатся данные о земле. В настоящее время, в связи с принятием в июне 2022 г. Постановления Правительства по созданию Федеральной государственной информационной системы «Единая цифровая платформа «Национальная система пространственных данных», формируются институциональные предпосылки для объединения всех сведений о земле, включая информацию о правах и кадастровой оценке, в одной электронной системе.

Задачей института государства является обеспечение включения в процессы накопления цифровой информации всех участников земельных отношений и создание условий для устойчивого спроса на цифровые технологии всех хозяйствующих субъектов сельской экономики, что активизирует процессы цифровой трансформации в сельской местности в целом [12]. Это даст возможность на основе цифровизации последовательно смягчать значительные риски современной институциональной среды и их негативное влияние на эффективность землепользования.

Заключение. Для оценки перспектив развития аграрного сектора и реализации системы мер по возвращению в оборот неиспользуемых земель требуется постоянный анализ сдерживающих механизмов этих процессов, основным из которых выступает современная институциональная среда. Научный анализ ее характеристик позволит определить стратегические направления необходимых изменений, включая усиление возможностей для расширения процессов цифровизации в сфере земельных отношений. При этом очень важным выступает рассмотрение дисфункциональности институтов, которая ведет к формированию «институциональных ловушек» и негативно влияет на эффективность землепользования, а также доверие к конкретному институту [13]. Институт

земельных долей привел к зарождению именно тех коллизий в земельных отношениях, которые не удалось устранить в течение последующих 30 лет после начала реформ.

Между тем, как отмечает А. Н. Дегтярев о кумулятивном эффекте жизненного цикла институтов: «...каким бы ни был длительным период «жизни» института, он все равно заканчивается...» [14, с. 73]. В условиях масштабности задач по развитию аграрного сектора экономики и совершенствованию институциональной среды земельных отношений это объективно усиливает роль института государства в преодолении последствий долговременного действия института земельных долей. Действие Государственной программы по возвращению в оборот выбывших земель, безусловно, позволит выбрать приоритетные направления региональной аграрной политики [15] и опираться на следующие принципы ее реализации: *вовлеченность и партнерство* (привлечение всех потенциальных участников земельных отношений, включая малый бизнес, в решение задачи повышения эффективности использования угодий); *принцип дифференцированности* (учет специфики территориальных особенностей: кадастровая стоимость земли, рентный потенциал, сложившийся уровень бюджетной поддержки товаропроизводителей и др.); *системность реализуемых мероприятий и стратегий* (оценка изменений рыночных условий и внешней среды для оптимизации использования ресурсов, достижение желаемых результатов при наименьших транзакционных издержках собственников земли и государства, при поддержании расширенного воспроизводства в АПК). Как представляется, это обеспечит достижение желаемого состояния, к которому необходимо привести структуру собственности на землю, масштабы и уровень эффективности землепользования в аграрном секторе. Отмеченное делает актуальным усиление научного сопровождения данных процессов в условиях высокой степени неопределенности внешней среды функционирования сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Список литературы

1. Костяев А. И., Острецов В. Н. Факторы производства и производительности в сельском хозяйстве (эволюция научных взглядов, роль в обеспечении конкурентного преимущества, формы организации воспроизводства). Санкт-Петербург: Северо-Западный научно-исследовательский институт экономики и организации сельского хозяйства РАСХН, 2000. 44 с.
2. Ушачев И. Г., Бондаренко Л. В., Чекалин В. С. Основные направления комплексного развития сельских территорий России. Вестник Российской академии наук. 2021;91(4):316-325. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587321040113> EDN: UXXXUK
3. Петриков А. В. Совершенствование сельской политики в России: направления и приоритеты. Проблемы национальной стратегии. 2021;(5):57-70. DOI: https://doi.org/10.52311/2079-3359_2021_5_57 EDN: UWIGTW
4. Костяев А. И. К вопросу о парадигме развития сельских территорий. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2018;(6):3-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36816778> EDN: YUNTJN
5. Никонова Г. Н. Особенности институциональной среды и развитие сельского хозяйства. Никоновские чтения. 2007;(12):157-159. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16749892> EDN: OCNZMD

6. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. Пер. с англ. А. Н. Нестеренко. М.: Начала, 1997. 180 с. Режим доступа: <https://gtmarket.ru/library/basis/6310#top2023>
7. Попов Е. В., Власов М. В., Веретенникова А. Ю. Об экономическом институте. Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2011;(6):4-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17104465> EDN: OKHSQJ
8. Сухарев О. С. Методологические основы институционального анализа: старая, новая школы и мейнстрим. Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2013;(41(179)):7-24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20684400> EDN: RKQOGL
9. Полтерович В. М. Институциональные ловушки и экономические реформы. Экономика и математические методы. 1999;35(2):3-20.
10. Никонова Г. Н. Собственники земельных долей в системе структурных преобразований аграрного сектора. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2003;(3):19.
11. Костяев А. И. Дифференциация сельского пространства: закономерности и движущие силы. АПК: экономика, управление. 2023;(8):123-134. DOI: <https://doi.org/10.33305/238-123> EDN: UJEUWZ
12. Sept A. Thinking Together Digitalization and Social Innovation in Rural Areas: An Exploration of Rural Digitalization Projects in Germany. European Countryside. 2020;12(2):193-208. DOI: <https://doi.org/10.2478/euco-2020-0011>
13. Nesru H. K., Zevenbergen J. A., Lengoiboni M. Land institutions' credibility: Analyzing the role of complementary institutions. Land Use Policy. 2019;81:553-564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.026>
14. Дегтярев А. Н. Конверсия институтов. Начала теории. М.: NOTA BENE, 2020. 240 с.
15. Никонова Г. Н. Приоритеты региональной земельной политики в России на современном этапе. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2004;(2):18-20.

References

1. Kostyaev A. I., Ostretsov V. N. Factors of production and productivity in agriculture (evolution of scientific views, role in providing the competitive advantage, forms of production organization). Saint-Petersburg: Severo-Zapadnyy nauchno-issledovatel'skiy institut ekonomiki i organizatsii sel'skogo khozyaystva RASKhN, 2000. 44 p.
2. Ushachev I. G., Bondarenko L. V., Chekalin V. S. Main directions of integrated development of rural areas in Russia. Vestnik Rossiyskoy akademii nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences. 2021;91(4):316-325. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587321040113>
3. Petrikov A. V. Improving Russia's rural policy: directions and priorities. Problemy natsional'noy strategii = National Strategy Issues. 2021;(5):57-70. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52311/2079-3359_2021_5_57
4. Kostyaev A. I. K voprosu o paradigme razvitiya sel'skikh territoriy. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki = Fundamental and applied researches of the cooperative sector of the economy. 2018;(6):3-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36816778>
5. Nikonova G. N. Features of the institutional environment and agricultural development. Nikonovskie chteniya. 2007;(12):157-159. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16749892>
6. Nortp D. Institutions, institutional change and economic performance. Per. s angl. A. N. Nesterenko. Moscow: Nachala, 1997. 180 p. URL: <https://gtmarket.ru/library/basis/6310#top2023>
7. Popov E. V., Vlasov M. V., Veretennikova A. Yu. On the economic institutions. Vestnik UrFU. Seriya: Ekonomika i upravlenie. 2011;(6):4-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17104465>
8. Sukharev O. S. Methodological foundations of institutional analysis: old, new schools and mainstream. Finansovaya analitika: problemy i resheniya = Financial Analytics: Science and Experience. 2013;(41(179)):7-24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20684400>
9. Polterovich V. M. Institutional traps and economic reforms. Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods. 1999;35(2):3-20. (In Russ.).
10. Nikonova G. N. Owners of land shares in the system of structural transformations of the agricultural sector. Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy = Economy of agricultural and processing enterprises. 2003;(3):19. (In Russ.).
11. Kostyaev A. I. Rural space differentiation: regularities and driving forces. APK: ekonomika, upravlenie. 2023;(8):123-134. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33305/238-123>
12. Sept A. Thinking Together Digitalization and Social Innovation in Rural Areas: An Exploration of Rural Digitalization Projects in Germany. European Countryside. 2020;12(2):193-208. DOI: <https://doi.org/10.2478/euco-2020-0011>
13. Nesru H. K., Zevenbergen J. A., Lengoiboni M. Land institutions' credibility: Analyzing the role of complementary institutions. Land Use Policy. 2019;81:553-564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.026>
14. Degtyarev A. N. Conversion of institutions. The beginning of the theory. Moscow: NOTA BENE, 2020. 240 p.
15. Nikonova G. N. Prioritety regional'noy zemel'noy politiki v Rossii na sovremennom etape. Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy = Economy of agricultural and processing enterprises. 2004;(2):18-20. (In Russ.).

Сведения об авторе

Никонова Галина Николаевна, доктор экон. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН», 14-я линия В.О, д. 39, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199178, e-mail: info@spcras.ru; главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Петербургское шоссе, дом 2, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Российская Федерация, 196601, e-mail: agro@spbgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7605-0237>, e-mail: galekos@yandex.ru

Information about the author

Galina N. Nikonova, DSc in Economics, professor, corresponding member of RAS, chief researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), 14th line V.O., 39, St. Petersburg, Russian Federation, 199178, e-mail: info@spcras.ru; chief researcher St. Petersburg State Agrarian University, Petersburg highway, 2, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196601, e-mail: agro@spbgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7605-0237>, e-mail: galekos@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

