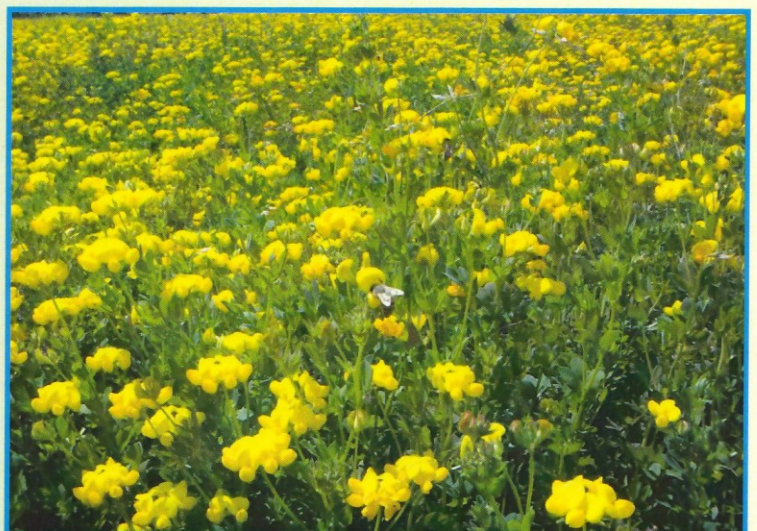


Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 21
№ 4
2020

Vol. 21
No. 4
2020

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудникова»

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



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

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

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

Редакционный совет

**Андреев
Николай Руфеевич**

д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмалопроductов, г. Москва, Россия

**Багиров
Вугар Алиевич**

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

**Баталова Галина
Аркадьевна**

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

**Гурьянов Александр
Михайлович**

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

**Дёгтева Светлана
Владимировна**

д.б.н., врио директора Института биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

**Джавадов
Эдуард Джавадович**

д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана Санкт-Петербургской государственной академии ветеринарной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия

**Домский Игорь
Александрович**

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

**Еремин
Сергей Петрович**

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

**Иванов Дмитрий
Анатольевич**

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, зав. отделом мониторинга состояния и использования осушаемых земель Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, 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, директор Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса

**Костяев Александр
Иванович**

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Северо-Западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, г. Санкт-Петербург, Россия

**Куликов
Иван Михайлович**

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

**Леднев
Андрей Викторович**

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

**Никонова Галина
Николаевна**

д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, руководитель отдела прогнозирования трансформации экономических структур и земельных отношений Северо-Западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, г. Санкт-Петербург, Россия

**Пашкина
Юлия Викторовна**

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

**Савченко
Иван Васильевич**

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

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

Журнал включен в базы данных
РИНЦ, 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.cnsib.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Журнал включен
в Реферативный журнал
и Базы данных ВИНТИ.

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

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

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

www.agronauka-sv.ru

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Подписано к печати
17.08.2020 г.

Дата выхода в свет
28.08.2020 г.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 16,51
Тираж 100 экз. Заказ 18.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

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

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Сисягин
Павел Николаевич

Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Цой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Баранов Александр
Васильевич

Брандорф
Анна Зиновьевна

Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Козлова Людмила
Михайловна

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибяттулович

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

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

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

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

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

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

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

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

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР),

иностраный член РАН, г. Байчен, Китай
д.т.н., Латвийский университет естественных наук и технологий,
г. Елгава, Латвия

д.т.н., профессор, декан факультета Люблинского 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 Цилинского аграрного университета,
иностраный член РАН, член Академии наук Китая, г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

к.э.н., доцент, врио проректора по экономике и инновациям Вятской
государственной сельскохозяйственной академии, г. Киров, Россия

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

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

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

д.в.н., профессор кафедры экологии и зоологии Вятской государственной
сельскохозяйственной академии, г. Киров, Россия

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

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

© The founder of the journal Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky (FARC North-East) 610007, Kirov, Lenina 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 agro-ecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

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

Headings

- REVIEW ARTICLE
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant growing. Storage and processing of agricultural production. Fodder production. Agriculture, agrochemistry, land improvement. Zootechny. Veterinary medicine. Fur farming and hunting. Mechanization, electrification, automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CURRENT EVENTS

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



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

The deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), the senior lecturer, head of scientific and organizational Department of the FARC North-East, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, the engineer of scientific and technical information of the FARC North-East, Kirov, Russia,
Natalya V. Veselova, Cand. of Sci. (Agricultural), the scientific secretary of the scientific and organizational Department of the FARC North-East, Kirov, Russia

Editorial council

- | | |
|--------------------------------|--|
| Nikolay R. Andreev | Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, academic advisor of the All-Russia scientific research institute of Starch Products, Moscow, Russia |
| Vugar A. Bagirov | Dr. of Sci. (Biology), Professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of coordination of organizations in the field of agricultural Sciences of the Ministry of education and science of Russia, Moscow, Russia |
| Galina A. Batalova | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy director on selection work, the head of Department of oats of the FARC North-East, Kirov, Russia |
| Alexander M. Guryanov | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, the director of Mordovian Agricultural Research Institute, Saransk, Russia |
| Svetlana V. Degteva | Dr. of Sci. (Biology), the acting director of Institute of biology of Komi Scientific Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia |
| Eduard D. Dzhavadov | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, academician of RAS, Honored worker of science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine", St. Petersburg, Russia |
| Igor A. Domskiy | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director of Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia |
| Sergey P. Eremin | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |
| Dmitriy A. Ivanov | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, corresponding member of RAS, the All-Russia scientific research institute of agricultural use of the reclaimed lands, 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 director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia |
| Aleksandr I. Kostjaev | Dr. of Sci. (Economics), the professor, academician of RAS, main researcher, of North-West scientific research institute of economy and the organization of agriculture, St. Petersburg, Russia |
| Ivan M. Kulikov | Dr. of Sci. (Economics), the professor, academician of RAS, the director of the All-Russia breeding-and-technology institute of gardening and plant rearing, Moscow, Russia |
| Andrei V. Lednev | Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia |
| Galina N. Nikonova | Dr. of Sci. (Economics), the professor, corresponding member of RAS, North-West scientific research institute of economy and the organization of agriculture, St. Petersburg, Russia |
| Yulia V. Pashkina | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Honorary worker of higher vocational education of the Russian Federation, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |
| Ivan V. Savchenko | Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, main researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia |
| Aleksandr G. Samodelkin | Dr. of Sci. (Biology), the professor, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia |

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

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

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

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

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

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

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenina 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

Signed for printing
17.08.2020.

Date of exit to light
28.08.2020.

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

Cond. pecs. l. 16.51

Circulation 100 copies. Order 18.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FANTS Northeast.
610007, Kirov, Lenina str., 166a

Pavel N. Sisjagin

Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Vera I. Titova

Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Anton N. Tokarev

Dr. of Sci. (Veterinary), Head of the Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine", St. Petersburg, Russia

Eroma P. Urban

Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Minsk, Republic of Belarus

Yu. A. Tsoy

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Irina G. Shirokich

Dr. of Sci. (Biology), leading researcher, head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, FARC North-East, professor at the Department of Microbiology, Vyatka State University, Kirov, Russia

Irina N. Shchennikova

Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley, FARC North-East, Kirov, Russia

Changzhong Ren

President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China

Semjons Ivanovs

Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

Andrzej Marczuk

Dr. of Sci. (Engineering), professor, 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

Wazlaw Romanjuk

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, Tehnological-and-naturalists' institute, Warsaw, Poland

Li Yu

The professor, the director of Institute of mycology of Jilin agrarian university, a foreign member of RAS, Changchun, China

Editorial Board

Aleksey V. Aleshkin

Dr. of Sci. (Engineering), professor at the Department of Industrial Security and Engineering systems, Vyatka State University, Kirov, Russia

Aleksandr V. Baranov

Dr. of Sci. (Biology), the professor, Kostroma, Russia

Anna S. Brandorf

Dr. of Sci. (Agricultural), Acting Director, Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoc, Russia

Aleksandr I. Burkov

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, main researcher, the Honored inventor of the Russian Federation, the head of Laboratory of grain- and seed-cleaning machines of the FARC North-East, Kirov, Russia

Tatyana L. Egozhina

Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Aleksandr A. Ivanovsky

Dr. of Sci. (Biology), the head of Laboratory of veterinary biotechnology of the FARC North-East, Kirov, Russia

Lyudmila M. Kozlova

Dr. of Sci. (Agricultural), the head of Department of agriculture, agrochemistry and land improvement of the FARC North-East, Kirov, Russia

Olga V. Kostenko

Cand. of Sci. (Economics), actina pro-rektor for Economy and Innovation of Vjatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

Olga V. Ryabova

Cand. of Sci. (Biology), associate Professor of Microbiology, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Perm state pharmaceutical Academy", Perm, Russia

Aleksander P. Saveliev

Dr. of Sci. (Veterinary), senior 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, associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia

Andrey V. Filatov

Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Ecology and Zoology, Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

Tatyana K. Sheshegova

Dr. of Sci. (Biology), the head of Laboratory of immunity and plants protection of the FARC North-East, Kirov, Russia

Gubeidulla S. Junusov

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, Agrarian-and-technological institute of Mari State University, the Honored worker of agriculture of Republic of Mary El, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

А. Ю. Просеков

Характеристика и ключевые ограничения традиционных методов учета охотничьих животных и цифровые технологии для решения существующих проблем (обзор)..... 341

О. А. Кошкина, Т. Е. Денисова, Н. А. Зиновьева

Вариация числа копий (CNV) как перспективный генетический маркер: распространение, методы валидации и гены-кандидаты в геномах сельскохозяйственных животных (обзор)..... 355

РАСТЕНИЕВОДСТВО

О. А. Симонова, М. В. Симонов, Е. В. Товстик

Эффекты избытка марганца(II) на рост и антиоксидантный статус проростков ячменя..... 369

И. Ю. Иванова

Сортоизучение мягкой пшеницы в условиях южной части Волго-Вятского региона..... 379

И. В. Лыскова, Е. М. Лисицын, Т. В. Лыскова

Реакция пигментного комплекса листьев клевера лугового на погодные условия и элементы минерального питания..... 387

Е. Г. Арзамасова, Е. В. Попова, М. Н. Грипась

Изучение комбинационной способности сортообразцов клевера лугового для целей селекции в условиях Волго-Вятского региона..... 397

С. В. Бобков, О. В. Уварова

Разработка оптимального метода получения изолированных белков гороха для использования в селекции на качество..... 408

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Л. Н. Прокина

Зависимость урожайности и качества зерна сои от макро- и микроудобрений на фоне последствия известкования..... 417

ПЕРЕРАБОТКА

А. Ю. Шариков, М. В. Амелякина, В. В. Иванов, Д. В. Поливановская

Ферментативный гидролиз экструдированного кукурузного крахмала в условиях высокой концентрации среды..... 425

ЗООТЕХНИЯ

С. В. Титова, В. А. Забиякин

Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности..... 434

Я. А. Жариков, Л. А. Канева

Эффективность скрещивания овцематок печорской породной группы с баранами остфризской породы в условиях Крайнего Севера..... 443

М. А. Григорьева, О. А. Величко, О. Н. Жигилева, И. В. Пак, И. А. Виноградский,

Р. Д. Рустамов, О. В. Трофимов

ISSR-полиморфизм кур-несушек родительского стада бройлеров, различающихся по темпам роста и показателям продуктивности..... 453

ЭКОНОМИКА

А. И. Костяев

К вопросу о научных основах разработки стратегий развития сельских территорий..... 462

ХРОНИКА

Памяти ученого. Дудин Геннадий Петрович..... 475

CONTENTS

REVIEWS

Alexander Yu. Prosekov

Characteristics and key limitations of traditional methods for accounting hunting animals and digital technologies for solving the existing problems (review)..... 341

Olga A. Koshkina, Tatiana E. Deniskova, Natalia A. Zinovieva

Copy number variation (CNV) as a promising genetic marker: distribution, validation methods and candidate genes in genomes of livestock species (review)..... 355

PLANT GROWING

Olga A. Simonova, Maksim V. Simonov, Evgeniya V. Tovstik

The effect of manganese (II) excess on growth and antioxidant status of barley seedlings..... 369

Inga Yu. Ivanova

Study of soft wheat varieties in the southern part of the Volga-Vyatka region..... 379

Irina V. Lyskova, Evgeniy M. Lisitsyn, Tatiana V. Lyskova

Reaction of pigment complex in meadow clover leaves to weather conditions and macronutrients..... 387

Ekaterina G. Arzamasova, Eugenia V. Popova, Maria N. Gripas'

Study of combining ability of meadow clover varieties for breeding purposes in the conditions of the Volga-Vyatka region..... 397

Sergey V. Bobkov, Olga V. Uvarova

Development of optimal method of obtaining pea isolated proteins for use in breeding for quality..... 408

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

Lyudmila N. Prokina

Dependence of yield and quality of soybean grain on macro and micro fertilizers against the background of liming aftereffect..... 417

PROCESSING

Anton Yu. Sharikov, Mariya V. Amelyakina, Viktor V. Ivanov,

Dar'ya V. Polivanovskaya

Enzymatic hydrolysis of high gravity extruded corn starch media..... 425

ZOOTECHNY

Svetlana V. Titova, Vladimir A. Zabyakin

Milk productivity and reproductive abilities of black-and-white cows of different lines..... 434

Yakov A. Zharikov, Lydia A. Kaneva

Efficiency of crossing ewes of the Pechora breed with rams of the Ostfriesian breed in the conditions of Far North..... 443

Marina A. Grygorieva, Oksana A. Velichko, Oksana N. Zhigileva, Irina V. Pak,

Ivan A. Vinogradsky, Rizvan D. Rustamov, Oleg V. Trofimov

ISSR polymorphism of laying hens of broiler parental stock distinguished by rates of growth and productivity indicators..... 453

ECONOMY

Alexander I. Kostyaev

On the scientific basis for developing rural development strategies..... 462

CHRONICLE

IN MEMORY. Dudin Gennadiy Petrovich..... 475

ОБЗОРЫ/REVIEWS

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.341-354>
УДК 639.1:574.34



Характеристика и ключевые ограничения традиционных методов учета охотничьих животных и цифровые технологии для решения существующих проблем (обзор)

© 2020. А. Ю. Просеков ✉

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация

Для решения комплекса острых проблем и перехода к устойчивому развитию охотничьего хозяйства России необходимо повышение точности и объективности данных о численности охотничьих животных. Существующие методы учета численности основаны на прямом пересчете или анализе тех или иных косвенных свидетельств их жизнедеятельности и, в основном, разработаны еще в советский период развития охотоведческой науки, т. е. являются неактуальными. В работе проведен описательный анализ существующих (традиционных) методов учета охотничьих животных (авиа-, наземный учет). Результаты исследования выявили основные преимущества и ограничения традиционных методов. Ограничения чаще всего связаны как с «человеческим фактором», так и с устаревшей теоретически и методически базой данных. Для устранения существующих недостатков необходимы принципиальные инновации в учете охотничьих животных. В современных условиях – это цифровые технологии. В обзоре рассмотрены цифровые модификации основных методов учета. К ним относится применение GPS-систем, использование фотоловушек и оснащение летательных аппаратов камерами. Одним из самых востребованных цифровых методов для учета охотничьих животных стал метод улучшения стандартного авиаучета. Так, на смену дорогой традиционной авиации пришли беспилотные летательные аппараты (дроны самолетного типа, квадрокоптеры), имеющие более низкую стоимость полета и устраняющие недостатки стандартного авиаучета (ограничение человеческого глаза, непригодные для учета погодные условия, биологические особенности животных и т. д.). Такие новые усовершенствованные методы позволяют проводить исследования охотничьих угодий, получая достоверную информацию о состоянии ресурсов леса.

Ключевые слова: ограничения учета, цифровые методы, беспилотное воздушное судно, GPS-навигатор, плотность животных, мониторинг

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № 075-15-2020-540).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Просеков А. Ю. Характеристика и ключевые ограничения традиционных методов учета охотничьих животных и цифровые технологии для решения существующих проблем (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):341-354. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.341-354>

Поступила: 01.03.2020 Принята к публикации: 23.06.2020 Опубликовано онлайн: 24.08.2020

Characteristics and key limitations of traditional methods for accounting hunting animals and digital technologies for solving the existing problems (review)

© 2020. Alexander Yu. Prosekov ✉

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

In order to solve the set of acute problems and for transition to sustainable development of hunting economy of Russia it is necessary to increase the accuracy and objectivity of data on number of hunting animals. Existing methods of accounting are based on direct recounting or analysis of certain indirect evidence of their vital activity, and are mainly developed during the Soviet period of development of hunting science, i.e. are irrelevant. In this research, a descriptive analysis of existing (traditional) methods of accounting for hunting animals (aviation, ground accounting) was carried out. The results of the study have revealed the main advantages and limitations of traditional methods. Restrictions are most often associated with both "human factor" and theoretically and methodologically outdated databases. In order to eliminate existing shortcomings, fundamental innovations in the accounting of hunting animals are necessary. In current conditions, these are primarily digital technologies. The review deals with digital modifications to the main accounting methods, including the use of GPS systems, the use of camera traps and the equipping of aircraft with cameras. The method of improving standard air accounting has become one of the most demanded digital methods of accounting for hunting animals. Thus, the expensive traditional aviation has been replaced by unmanned aerial vehicles (aircraft-type drones, quadcopters), which have lower flight costs and lack shortcomings of standard aircraft accounting (restriction of human eye viewing, unsuitable weather conditions, biologi-

cal features of animals, etc.). These new improved methods allow to study hunting grounds and obtain reliable information on the state of forest resources.

Keywords: accounting limitations, digital methods, unmanned aircraft, GPS navigator, animal density, monitoring

Acknowledgement: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 075-15-2020-540).

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

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

For citation: Prosekov A. Yu. Characteristics and key limitations of traditional methods for accounting hunting animals and digital technologies for solving the existing problems (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4): 341-354. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.341-354>

Received: 01.03.2020

Accepted for publication: 23.06.2020

Published online: 24.08.2020

Современные подходы к охотничьему хозяйству базируются на принципах устойчивого развития, требующих рационального сочетания сохранения биоразнообразия и экономической эффективности, соблюдения баланса социально-экономических и природоохранных интересов [1, 2]. Данные принципы предполагают рациональное использование охотничьих животных в соответствии с обоснованными нормами добычи (неистощительный тип охотпользования): регулирование популяций; проведение необходимых биотехнических мероприятий как для сохранения охотничьих ресурсов, так и для повышения социально-экономической эффективности охотничьего хозяйства [3]. Иными словами, устойчивое развитие охотничьего хозяйства базируется на данных учета и мониторинга численности охотничьих животных как его основного ресурса.

В свою очередь, учет и мониторинг численности охотничьих животных позволяют оценить «теневую» незаконную добычу путем сопоставления данных о динамике по годам с учетом плодовитости, смертности и миграции зверя. По данным В. Г. Сафонова и В. М. Глушкова [4], опросивших охотников-участников Интернет-форумов, незаконная добыча (браконьерство) некоторых категорий животных превышает официальные данные в 4-10 раз. Также В. А. Кузякин считает, что совершенствование системы мониторинга является не только одним из методов усиления контроля и искоренения браконьерства, но и методом совершенствования управления ресурсами охотничьих животных [3].

Цель обзора – проведение анализа существующих (традиционных) методов учета охотничьих животных для выявления современного состояния методов мониторинга.

Материал и методы. В рамках данной работы был проведен описательный обзор, который охватил все основные методы учета охотничьих животных. Материалом для обзора послужили отечественные и зарубежные научные и обзорные статьи, тезисы докладов конференции, учебные материалы, патенты, полученные с помощью различных баз данных: Web of Science, Elsevier (Science Direct), Scopus, Российской научной электронной библиотеки (e-Library), Научной электронной библиотеки (CyberLeninka), патентной базы ФИПС (<https://www1.fips.ru/>). Поиск информации осуществлялся по следующим ключевым словам: методы учета охотничьих животных, мониторинг популяции, зимний маршрутный учет, авиаучет, цифровые технологии, беспилотные воздушные судна, анкетно-опросный метод, учет прогоном, окладный учет, ленточный учет, GPS-навигаторы. В найденных публикациях был изучен перечень библиографии всех исследований на предмет других потенциальных источников.

Основная часть. 1. Характеристика основных методов учета охотничьих животных. В рамках ведения охотничьего хозяйства было разработано и обосновано значительное количество методов учета охотничьих животных. Существующие методы различаются по следующим признакам: охвату территории; объектам учета; способам подсчета; используемым техническим средствам; характеру математических параметров (относительные и абсолютные) и т. д.¹ Одну из первых классификационных схем систематизации методов учета охотничьих животных разработал В. А. Кузякин². Наряду с предложенной схемой в отечественной литературе фигурируют виды учета, упорядоченные по биологическим, математическим, организационным и географическим особенностям.

¹Харченко Н. А., Лихацкий Ю. П., Харченко Н. Н. Биология зверей и птиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003. С. 291-292.

²Кузякин В. А. Охотничья таксация. М.: Лесная промышленность, 1979. 198 с.

На основании биологических особенностей методы учета классифицируются³:

- в зависимости от числа видов животных, подвергаемых учету – подвидовой учет, комплексный учет;

- в соответствии с признаками, по которым выявляется численность животных – непосредственное визуальное обнаружение животных (прямой учет), выявление следов жизнедеятельности животных (чаще всего следы, убежища, гнездовья, режы – следы дефекаций, останки жертв хищников);

- по характеру движения при учете – маршрутные, ленточные, когда учетчик движется вдоль определенных линий, и площадные, когда должна быть обследована вся территория в определенных границах.

На основании математических особенностей методы учета разделяются⁴:

- в зависимости от необходимости прибегать к экстраполяции – сплошной учет всей численности на обследуемой территории (по экономическим соображениям доступен только для сравнительно небольших площадей) и выборочный учет, который проводится на лентах или пробных площадках, его результаты экстраполируются на всю территорию;

- по получаемым результатам – относительный учет (рассчитываются индексы, показывающие изменение численности), абсолютный учет (рассчитывается численность охотничьих животных на территории в особях, как правило, с применением экстраполяции).

На основании организационных особенностей методы учета разделяются⁵:

- в соответствии с применяемой техникой – авиаучет (используется как классическая, так и беспилотная авиация) [5], наземный учет (пеший, с автомобиля, снегохода и др.);

- по характеру используемой информации – непосредственный полевой учет и сбор,

обработка документальной информации, к которой относятся данные анкетного опроса охотников, экспертные оценки (такой учет можно назвать кабинетным);

- по уровню субъекта организации учета – один охотпользователь, органы власти субъекта Российской Федерации и т. д.;

- по профессионализму и численности учетчиков (существует обратная пропорциональная зависимость между этими параметрами) – массовые учеты с вовлечением значительного числа охотников-любителей, специальные учеты небольшими группами специалистов высокой квалификации;

- по периодичности – разовые, регулярные (1 раз в 3-5 лет, 1 раз в год и т. д.).

На основании географических особенностей методы учета разделяются⁶:

- по охватываемой территории – малые и большие территории, в частности: учет в одном охотничьем хозяйстве, заказнике, регионе (субъекте Российской Федерации), стране и т. д.;

- в зависимости от арены экстраполяции – учет по замкнутым участкам с очерченными границами (региональная экстраполяция), по природным контурам или ландшафтам, в границах которых наблюдаются благоприятные для жизни животных условия (типологическая экстраполяция).

Методы учета подразделяются также на методы относительного, абсолютного учета и комбинированные^{7, 8, 9, 10} [6]. Ниже представлены методы, которым ученые в своих работах уделяют наибольшее внимание.

Относительные методы учета. 1. Зимний маршрутный учет (ЗМУ) – широко применяемый и детально разработанный метод, сущность которого состоит в определении зависимости между численностью особей на выбранной территории (линии маршрута) и количеством следов (оставленных в течение одних суток), и длиной суточного хода особей¹¹.

³Там же. С. 67-69.

⁴Там же. С. 69-73.

⁵Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. С. 64-71.

⁶Кузякин В. А. Охотничья таксация. М., 1979. С. 73-86.

⁷Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М., 2017. С. 22.

⁸Абрамова Н. И., Мариничев Е. А. Учет охотничьих животных и птиц: учеб. пособие. Н.Новгород: НГСХА, 2019. С. 13-14.

⁹Машкин В. И. Методы изучения охотничьих и охраняемых животных в полевых условиях: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2013. 327 с.

¹⁰Мартынов Е. Н., Масайтис В. В., Гороховников А. В. Охотничье дело. Охотоведение и охотничье хозяйство: учебное пособие. СПб.: Лань, 2014. 237 с.

¹¹Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учета охотничьих животных в России (с алгоритмом расчета численности). [Электронный ресурс]. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902217266> (дата обращения: 1.03.2020).

Метод опирается на формулу А. Н. Формозова, которая с поправками (переводным коэффициентом) В. И. Малышева и С. Д. Перелешина [7] позволяет рассчитать плотность населения вида и получить показатель численности.

На сегодняшний день ЗМУ является основным для учета большинства млекопитающих: для крупных копытных животных [8], хищников и птиц (метод по встречам на маршрутах¹²). По данным такого маршрутного учёта определяют лимиты добычи, нормы изъятия и квоты. К его преимуществам относятся: точность, простоту исполнения, относительно невысокую стоимость используемых технических средств (применяемых в учете, в пересчете на весь период их службы [6]) и универсальность исполнения как на больших, так и на малых территориях [9].

К недостаткам ЗМУ относят: трудоемкость (которая возрастает, при уменьшении исследуемых территорий); необходимость экстраполяции данных, из-за чего снижается точность. Многие ученые ставят под сомнения универсальность ЗМУ, так как метод мало подходит для учета животных, ведущих малоактивный и скрытный образ жизни (например, для бурого медведя [10]). К тому же применение ЗМУ ограничивается рядом климатических особенностей: он дает заниженные результаты из-за неустойчивого снежного покрова или из-за покрова толщиной более 40 см (такой снег снижает двигательную активность зверей и протяженность суточного хода)¹³. Учет имеет ряд противоречий, описанных в работе А. И. Козореза и А. В. Гуриновича [11]. Противоречия связаны с недостаточной теоретической обоснованностью метода, с невозможностью «технического обеспечения получения необходимого объема учетных работ» [11, с. 154]. Так, в малых хозяйствах сложно обеспечить оптимальное количество маршрутов, способное снизить статистическую ошибку до приемлемого уровня из-за неравномерного распределения особей. Еще один недостаток связан с постоянной величиной суточного хода животных в период учета в пределах одного хозяйства: необходимо в каждый день учета измерять длину суточного хода, что в большинстве

случаев не выполняется, так как технически это не осуществимо. В итоге, полученный индекс плотности является относительным показателем, не подходящим для пересчета абсолютной численности охотничьих животных.

2. Учет на местах концентрации. Данный визуальный метод осуществляется путем подсчета животных с одной точки наблюдения. Метод имеет низкую трудоемкость, но в своем классическом виде широкое распространение не получил. С помощью модификации цифровыми технологиями, метод становится перспективным [8], так как такое усовершенствование минимизирует влияние исследователя на природу, позволяет получать данные в любое время года и т. д. Используется метод для учета копытных животных (лосей, косуль, оленей) на водопоях, солонцах, подкормочных площадках, водоплавающей дичи на перелетах, для птиц вальдшнепа на тяге^{14, 15}.

3. Особо значимым методом для охотничьего хозяйства является анкетно-опросный¹⁶, основанный на оценке специалистов (егерей, лесников, охотоведов), непосредственно работающих в тех или иных районах [12]. Метод простой, не требует больших финансовых и организационных затрат. Его можно считать универсальным, так как он позволяет оценить не только численность, но и территорию распределения, интенсивность размножения и болезни животных. Подходит и для малых, и для больших территорий.

Метод позволяет получить относительные данные, основанные на субъективных оценках, что является его недостатком. Результаты зависят от количества и уровня компетентности опрошенных, качества анкет, добросовестности опрашиваемых. В зависимости от этих факторов при опросе могут собираться данные об относительном изменении численности зверя по принципу «больше – столько же – меньше», а также о поведении, распределении и распространении животных. При наличии высококвалифицированных экспертов могут задаваться вопросы о численности крупных или редких животных, полевой учет которых очень трудоемок [2] или дает искаженные результаты.

¹²Машкин В. И. Методы изучения охотничьих и охраняемых животных в полевых условиях: учеб. пособие. СПб., 2013. С. 328-382.

¹³Там же. С. 331.

¹⁴Там же. С. 371-393.

¹⁵Методы относительного учета охотничьих животных [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://www.activestudy.info/metody-otnositelnogo-ucheta-oxotnichix-zhivotnyx/> (дата обращения 20.02.2020).

¹⁶Научно обоснованные предложение для государственной системы мониторинга ресурсов основных видов охотничьих животных в Российской Федерации / Колесников В. В. [и др.] ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова, 2017. 12 с.

Постоянное совершенствование анкетного метода позволяет повысить достоверность получаемых материалов¹⁷. Метод используется для изучения численности крупных копытных, редких животных и хищников [12].

Все методы относительного учета не позволяют установить площадь угодий, на которых проводилось исследование. На практике эти методы часто комбинируют с абсолютными для сравнения и получения достоверных данных.

Абсолютные методы учета. 1. Учет на пробных площадках (прогон, оклад, по норам, по дефекациям, учет на токах, птиц по голосам, копытных по реву). В литературе наиболее исследованными методами являются окладный и прогонный учеты. Данные методы применимы для всех охотничьих животных, и их можно использовать в любое время года¹⁸.

Окладный учет основан на расчете численности зверей в пределах участка леса (квартала) по разнице входных и выходных следов [13]. В окладном учете существуют две основные проблемы. Первая из них – обоснованный выбор пробных площадок, в границах которых ведется учет, их репрезентативность. Это же затруднение возникает и при ЗМУ, и при выборе пробных площадок для прогона, а смягчается только путем биологически обоснованного выбора «типичных» площадок квалифицированными охотоведами. Вторая проблема вытекает из содержательных особенностей метода, при котором возможно по-разному оценить равное количество входных и выходных следов на площадке, не учесть тех животных, которые не выходили за площадку оклада. Сам принцип окладного учета закладывает возможность неверной интерпретации даже объективных данных. Снизить вероятность ошибок здесь возможно при наличии квалифицированных добросовестных специалистов и расширении площади учета, тропления «проблемных» следов.

Учет прогоном является одним из самых ранних методов учета животных [14]. Суть

метода заключается в том, что животных прогоняют с заранее определенных площадок и пересчитывают поголовно (по следам или визуально), то есть численность животных определяется напрямую, а не по косвенным данным.

Преимуществом метода является простота, понятность и точность. Метод рекомендуется использовать в качестве арбитражного и для определения и корректировки пересчетных коэффициентов ЗМУ¹⁹. К недостаткам метода можно отнести сложную организацию, ограниченность по территориям учета. Кроме того, метод требует больших трудозатрат, зависит от квалификации и мотивации участников, в связи с этим метод используется на относительно малых территориях. В свою очередь, корректность экстраполяции зависит от того, насколько верно выбраны пробные площадки.

Также популярен учет по дефекациям или фекальным кучкам. Метод основан на подсчете кучек экскрементов на учетной ленте. Разделив полученное число на число дефекаций, выделяемых одной особью в течение сезона, получают общее количество животных, зимовавших на данной территории¹⁹. Данный учет позволяет определить численность животных, их пол и возраст, составить картину размещения особей на исследуемой территории. В основном метод применяется для подсчета диких копытных животных, лис, зайцев, боровой дичи [15], но чаще его используют для уточнения данных других методов учета.

2. Среди методов учета численности охотничьих животных приоритетным является учет с применением авиации [16]. Авиачет – метод, основанный на аэровизуальном подсчете зверей по непосредственным наблюдениям или фотоснимкам²⁰. Особенности авиачета обусловлены тем, что наблюдение с высоты снимает проблему труднодоступных маршрутов. Метод обеспечивает учет самих животных, а не следов их пребывания. Учет проводится быстро со сбором значительного объема материала на больших территориях и при привлечении коллектива малого числа специалистов.

¹⁷ Там же. С. 371-393.

¹⁸ Методы относительного учета охотничьих животных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.activestudy.info/metody-otnositelnogo-ucheta-oxotnichix-zhivotnyx/> (дата обращения 20.02.2020).

¹⁹ Научно обоснованное предложение для государственной системы мониторинга ресурсов основных видов охотничьих животных в Российской Федерации / Колесников В. В. [и др.] ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова, 2017. 12 с.

¹⁹ Белов Л. А. Учет численности копытных животных и повреждаемости древесных растений. Метод. указания. Екатеринбург: УГЛТУ, 2019. 9 с.

²⁰ Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М., 2017. 165 с.

Однако метод имеет и свои ограничения. Например, размер учитываемых животных (как правило, можно различить только крупных – лось, северный олень, волк). Это связано с возможностями человеческого глаза. На результаты влияют также характер обследуемых угодий, погодные условия, биологические особенности животных. Отдельной проблемой является стоимость авиаучета.

Авиаучет позволяет достаточно точно рассчитать численность крупных копытных животных [17] и хищников, а также тетеревиных птиц [18].

На сегодняшний день авиаучет осуществляется либо с использованием пилотируемых аппаратов, либо с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, БЛА), которые с февраля 2020 года принято называть беспилотными воздушными суднами (БВС)²¹ [4].

Несмотря на все преимущества вышеперечисленных методов, получить достоверные данные только с их помощью невозможно, так как требуется сравнение с другими методами учета. Для получения достоверных данных о популяции и численности охотничьих животных необходимо использование комплексных или комбинированных методов, которые дают более точную информацию.

Комбинированные методы учета. Включают один абсолютный метод учета и один относительный. Такое совмещение методов позволяет уменьшить трудоемкость работ по учету, сохраняя высокую точность. Так, совмещение ЗМУ (как относительного метода) и окладного метода (как абсолютного метода учета) позволяет получить достоверный пересчетный коэффициент, с помощью которого можно получить более точную информацию о плотности населения исследуемых животных в сравнении с данными о плотности, полученными методами по-отдельности²².

При выборе метода или методов учета (в случае комбинации) ориентируются на необходимость получения точных данных, финансовые возможности и характер исследуемой территории, значимые недостатки метода, исходя из цели и задач исследования. Развитие охотоведения и технического уровня наук способствует упрощению выбора оптимального метода. Существует несколько

способов устранения основных недостатков традиционных методов учета.

Для того чтобы устранить недостатки основных методов учета животных, ученые активно разрабатывают и исследуют модельные ситуации. И. А. Кондратенков установил геометрический смысл коэффициента (1,57), применяемого в формуле А. Н. Формозова, модифицированную В. И. Малышевым и С. Д. Перелешиним, определил эффективную ширину учетной полосы ЗМУ. Вычисления и минимальные требования, указанные в его статье, позволяют свести систематические ошибки ЗМУ к минимуму [7]. В. М. Козлов и С. В. Халтурин в своей работе предлагают теоретический метод учета тетеревиных на трансектах (совершенствуют один из видов учета на пробных площадях). Они изучали особенности экстраполяции, выявляли ошибки и искажения данных учета численности тетеревидных птиц на трансектах, определяли необходимую длину маршрутов с помощью компьютерного моделирования. С помощью компьютерной модели им удалось определить необходимую точность выбранного метода, которая достигалась при длине маршрутов в 3-5 км на 1000 га площади и зависела от плотности населения птиц. Точность данных требовала многократного прохождения маршрутов (10 раз). Маршруты же закладывались по всей площади угодий, результаты необходимо было экстраполировать на всю площадь. Недостатком предложенного алгоритма учета является наличие больших трудозатрат [19].

2. *Цифровые технологии для решения проблем традиционных методов учета.* Количество работ по совершенствованию учетных методов велико, но особое влияние оказывают модификации с использованием цифровых технологий, способных снять или устранить многие недостатки традиционных методов учета охотничьих животных [20, 21]. Потенциал цифровых технологий практически в любой отрасли связан с возможностью создания цифровых копий реальных объектов, анализа больших объемов данных, принятия наиболее обоснованных решений и выполнения конкретных действий автоматически, без участия человека. Причем себестоимость такой деятельности, как правило, оказывается значительно ниже, чем у традиционной аналоговой.

²¹Опубликованы изменения в правилах полетов беспилотников [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/487008/> (дата обращения: 10.02.2020).

²²Абрамова Н. И., Мариничев Е. А. Учет охотничьих животных и птиц. Н. Новгород, 2019. 18 с.

Первое использование цифровых технологий в отечественных работах по учету охотничьих животных – модификация ЗМУ за счет применения GPS-навигации в 2010 г [22]. Суть метода заключается в том, что в памяти навигатора маршрут фиксируется как трек, на котором помечаются все следы жизнедеятельности животных. Полученная информация загружается в специальную программу, где обрабатывается и распечатывается в виде схемы. Использование GPS-навигатора позволяет упростить установление длины суточного наследа, тем самым устраняя одно из «непреодолимых противоречий», выделенных А. И. Козорезом и А. В. Гуриновичем в своей работе [11]. Также такой учет позволяет отслеживать добросовестность осуществления полевых работ учетчиками. Однако использование данной цифровой технологии увеличивает стоимость учета [6].

Иностранные учёные часто используют GPS-устройства, а именно GPS-ошейники. Но их применение чаще осуществляется не для учета животных, а для анализа предпочтительных мест обитания [23]. В отечественных работах GPS-ошейники используют для изучения и охраны бурого медведя [24], амурского тигра [25], для мониторинга животных, занесенных в Красную книгу России [26] (например, лесного северного оленя в Карелии [27]).

Отечественные ученые также преуспели в разработке программных обеспечений (ПО) для персональных компьютеров, ноутбуков, систем Android. Эти программы обрабатывают данные ЗМУ: автоматически анализируют загруженную информацию, рассчитывают плотность и численность животных и прогнозируют скорость ее роста, рассчитывают квоты на сезон, оформляют результаты в виде отчетов и картографических карт [28]. Разработанные программы также позволяют регистрировать координаты обнаруженных животных и их следов во время ЗМУ [29, 30].

Использование фотоловушек дает возможность повысить эффективность и востребованность метода учета животных на местах концентрации [31]. Использование такой модификации позволяет исследовать редких и крупных животных. Так И. А. Домашов и его коллеги осуществляют мониторинг численности снежного барса [32]. А в работе М. А. Харитоновой и его коллег [33] информация о крупных млекопитающих (лосях, кабанах, бурых медведях и енотовидных собаках), полученная с помощью данного дистанционного метода, используется для сравнения с

методом ЗМУ для получения достоверных данных. Применение фотоловушек позволяет повысить безопасность исследователей, так как контакт с животными минимален. Недостатком является то, что существует ряд факторов, занижающих точность метода. Например, недоучет особи из-за ее непосещения места концентрации, из-за большой дистанции между местом и камерой, из-за плохой освещенности. Данные недостатки можно устранить путем использования более совершенных систем наблюдения, но тогда стоимость метода возрастает, как и риск того, что данное средство могут испортить или украсть [6]. К тому же, полученные данные зависят от марок фотоловушек (которые из-за различных углов обзора и дальности срабатывания представляют неидентичные фотоснимки), от места их установки и сезона регистрации [33].

Многие исследователи считают, что авиационный мониторинг численности животных является самым эффективным методом учета [34]. И в научной литературе представлено огромное количество работ, посвящённых проведению БВС для учета животных.

А. А. Медведев со своими коллегами [35] с помощью БВС (в виде квадрокоптера и гексакоптера) получали следующие данные: о численности млекопитающих по биогенным формам рельефа; об обнаружении животных по прямым и косвенным признакам; о распознавании типов гнезд и их обитателей; об учете крупных водоплавающих во время миграции. Ученые в ходе своих исследований пришли к выводу о том, что такие авиаучеты целесообразно проводить на открытой местности и с большой высоты (от 400 м) в орнитологических целях, для наблюдений за малоподвижными и неподвижными представителями животного мира, для изучения колонизаторов насекомых (для изучения строения термитников и муравейников).

В работе Н. А. Моргунова и его коллег [36] описан принцип применения БВС для учета копытных животных. Во время полета камеры, установленные на БВС, осуществляют съемку поверхности земли, спутниковый навигатор фиксирует трек всего маршрута. Затем на полученных снимках определяют силуэты животных и подсчитывают их количество. Зная площадь исследуемой территории (для чего используется навигатор) и количество животных на ней, определяют плотность населения вида. К преимуществам БВС ученые относят то, что аппараты передвигаются с более низкой скоростью, они более манев-

ренны и имеют минимальное шумовое воздействие на окружающую среду, что важно для учета. К тому же БВС не нужны аэродромы и традиционная сложная инфраструктура, поэтому они могут использоваться практически в любых труднодоступных районах. БВС позволяет получать точные результаты (фотографии животных). Однако на сегодняшний день нет единых программных обеспечений, способных анализировать снимки в автоматическом режиме, следовательно, трудоемкость обработки снимков «в ручном» режиме очень высока и существует необходимость разработки программ для анализа результатов БПЛА.

В своей работе О. А. Греков [37] помимо обычной фотокамеры на дирижабле установил и тепловизионную камеру, так как использование только фотокамеры не позволяет уверенно различать неодушевленные предметы от животных. К тому же обычной фотосъемке мешает и густая растительность, и освещение (тени зверей не всегда помогают установить вид животного, но и искажают визуальный образ).

Тепловизионная съемка с БПЛА в зимних условиях, как показали опыты в зоологическом заказнике «Калтайский» (Томская область), позволяет преодолеть большинство ограничений авиаучета: значительно шире полоса захвата; выявляются животные, находящиеся под плотным растительным покровом, т. к. температура их тела существенно отличается от температуры снега и деревьев [38]. Иными словами такая синхронизация повышает надежность и точность результатов авиаучета.

Также О. А. Греков [37] выделил три основных этапа проведения мониторинга охотничьих животных:

- первый – подготовка к выполнению съемки (устанавливались цели, задачи, изучался район исследования, осуществлялось планирование безопасного проведения анализа, расчеты режимов полета и рациональных параметров съемки, подавались запросы на разрешение съемки);
- второй – проведение аэросъемки;
- третий – дешифрование результатов съемки и оформление отчета.

Во всех вышепредставленных работах использовались БВС вертолетного типа, подходящие для исследования небольших территорий (порядка 1 тыс. га) [39], но для мониторинга территорий порядка 100 тыс. га рационально использовать БВС самолетного типа, данные работы проводил О. А. Греков [37] и Н. А. Моргунов [20].

Преимущества БВС перед традиционными методами учета животных были обобщены во многих работах исследователей, так данные с БПЛА в среднем на 43-96 % точнее результатов традиционных наземных методов учета, в связи с чем значительно повышается точность учета и сокращаются трудозатраты [40]. БВС способны охватывать большие территории за относительно короткое время и давать достоверные результаты о численности диких животных, что позволяет в быстром режиме реагировать на угрозы со стороны среды обитания и «нелегальной охоты» и устранять их [41]. Использование БВС повышает безопасность исследователей, так как личного контакта с животными не происходит, к тому же уменьшается уровень вмешательства человека в дикую природу [42].

Несмотря на все преимущества, БВС имеет ряд существенных проблем. Не всегда на фотографиях можно определить вид животного. Недостаток можно устранить, используя более современные фотокамеры, но тогда цена метода, соответственно, возрастёт. Увеличивается и трудоемкость из-за визуальной обработки огромного массива фотоснимков, то есть «человеческий фактор» (невнимательность, усталость и т. д.) полностью устранить невозможно. Минимизировать данный недостаток можно, привлекая к обработке информации нескольких специалистов или разрабатывая ПО, способные автоматически обрабатывать полученную информацию. Так, S. N. Longmore и коллеги [43] совместили ПО, применяемое в астрономии, использующее инфракрасные (ИК) изображения, с существующим алгоритмами машинного обучения для дешифрования тепловых снимков животных в автоматическом режиме. Такое совмещение эффективно обнаруживало животных на ИК-изображениях. В дальнейшем ученые планируют адаптировать данную систему для работ в полевых условиях, сделать ее более простой и понятной для потребителя.

Отечественные ученые также разрабатывают ПО для автоматической обработки информации, полученной при аэрофотосъемке. Программы обнаруживают животных на снимках, подсчитывают их количество как на отдельном снимке, так и по всей серии снимков [44]. Другие программы позволяют одновременно обрабатывать тепловизионные снимки и видеоматериалы [45].

По результатам обзора видно, что ученые в основном акцентируют свое внимание на доработку «теоретической обоснованности» и разработку новых методических рекомендаций к ЗМУ и прочим методам, на использование достижений современной техники для упрощения проведения методов учета и получения точных результатов по учету животных.

Заключение. В рамках данной работы были исследованы основные традиционные методы учета охотничьих животных (абсолютные и относительные методы), были выделены их существенные преимущества и недостатки.

На основании проанализированной литературы, комбинированный метод учета, включающий в себя проведение одного абсолютного и одного относительного методов, является оптимальным, так как позволяет компенсировать или снизить недостатки друг друга, а также сравнивать, дополнять данные двух методов, то есть получать наиболее достоверные результаты.

Также осуществлялся анализ основных путей по улучшению стандартных учетных методов, которые в основном заключались: в разработке, усовершенствовании существующих теоретических и методических баз методов учета; в использовании цифровых технологий для модификации, упрощения проведения учета численности и плотности животных; в создании программных обеспечений, способных в автоматическом режиме анализи-

ровать большое количество информации для получения достоверных результатов, на основании которых рассчитывать численность и плотность населения охотничьих животных.

Было выявлено, что перспективными методами по модификации являются применение фото- и тепловизионных камер на БВС как самолетного, так и вертолетного типа (для совершенствования авиаучета) и системы GPS-навигации (для улучшения маршрутных и прочих методов учета).

Важной проблемой современного состояния научной основы отечественного охотоведения и мониторинга охотничьих животных, как одной из его составляющих, является то, что на сегодняшний день мало актуальных работ, научно обоснованных и не опирающихся на устаревшую литературу. Многие исследования не рассматривают опыт зарубежных коллег, тем самым лишаясь современных достижений и опыта. В результате чего опубликованные работы имеют низкий уровень цитируемости, а, следовательно, интереса в научных кругах.

Совершенствование методов учета численности и плотности охотничьих животных является одной из важных составляющих грамотного охотоведения. Исследования в данной области являются перспективными. Проведение обширных обзоров научной литературы по данной тематике способствует развитию рационального биологического природопользования.

Список литературы

1. Юшкевич Н. Т. Модель устойчивого развития охотничьего хозяйства в Беларуси. Труды Белорусского государственного технологического университета. 2018;(1(208)):61-65. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35093806>
2. Каледин А. П., Юлдашбаев Ю. А., Николаев А. А., Остапчук А. М. Вопросы сохранения охотничьих ресурсов и их стоимостной оценки в Российской Федерации и Московской области. Международный технико-экономический журнал. 2016. (4): 24-30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27187064>
3. Глушков В. М. Незаконная добыча лося в России: взгляд изнутри. Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства: сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск: ООО «Издательство Оттиск». 2014. С. 49-61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22726340>
4. Сафонов В. Г., Глушков В. М. О необходимости совершенствования управления ресурсами дичи. Аграрная наука Северо-Востока. 2016;(1 (50)):51-56. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25476141>
5. Еськов Е. К., Греков О. А. Организация авиаучета охотничьих животных с использованием пилотируемых и беспилотных авиационных комплексов. Вестник охотоведения. 2018;15(4):238-241. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36551242>
6. Бородулин В. А. Подходы к выбору способа количественной оценки населения лося на северо-западе лесной зоны. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2013;(205):25-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21526421>
7. Кондратенков И. А. Некоторые аспекты теории зимнего маршрутного учета охотничьих животных. Поволжский экологический журнал. 2018; (1):26-48.
8. Червонный В. В. Сравнительный анализ разных методов учета копытных и оценка их результатов. Научные ведомости БелГУ. 2014; (17 (188)): 86-94.
9. Глушков В. М., Кетова Н. С. ЗМУ: оценка работы двух методов. Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2020;(1 (26)):5-28. Режим доступа: <http://www.biosphere-sib.ru/scientific-practical-journals/Humanitarian-aspects-of-hunting.php>
10. Ахрименко А. К., Седалищев В. Т. Экологические особенности бурого медведя (*Ursus arctos* L., 1758) в Якутии. Экология. 2008;(3):201-205. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9976745>

11. Козорез А. И., Гуринович А. В. Непреодолимые противоречия зимнего маршрутного учета диких животных. Труды БГТУ. Серия 1: лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019;(2 (222)): 149-155. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nepreodolimye-protivorechiya-zimnego-marshrutnogo-ucheta-dikih-zhivotnyh>
12. Степанова В. В. Обоснование и опыт проведения анкетно-опросного метода учета волков в Якутии. Вестник ИРГСХА. 2017; (83):158-163. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30547406>
13. Челинцев Н. Г. Математические основы учета животных. Бюллетень московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2013;118(1):3-15.
14. Червонный В. В. Учет охотничьих зверей прогоном. Методы учета охотничьих животных в лесной зоне: сб. статей. 1973. С. 29-35. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28336058>
15. Пысин В. Г., Макаров В. А. Размещение учетных площадок по территории угодий для организации учета численности видового состава охотресурсов методом прогона. Вестник охотоведения. 2017;14(1):35-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28961453>
16. Маллер О. Н., Савченко И. А., Емельянов В. И., Путинцев А. В. Авиаучет копытных на территории Канской группы районов Красноярского края. Успехи современной науки и образования. 2017;(1):66-70. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28130000>
17. Сенчик А. В., Рябченко А. В., Бормотов М. А., Гурецкая Ю. С. Состояние популяции диких копытных животных в Приамурье на основании авиаучета 2017 года. Инновации и продовольственная безопасность. 2017; (4(18)):127-133. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32319101>
18. Симонов С. А., Панченко Д. В., Тирронен К. Ф., Белкин В. В. Опыт применения авиации для учета тетеревиных птиц в Карелии. Вестник охотоведения. 2018; (4): 242-245. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36551243>
19. Козлов В. М., Халтурин С. В. Моделирование учета тетеревиных птиц. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017.(6(61)):69-73. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32375882>
20. Моргунов Н. А., Ломанова Н. В., Масленников А. В., Шеду А. В. Результаты авиаучета лося в ФГБУ ГООХ «Медведица» и в Рыбинском районе Ярославской области в 2017 г. с применением беспилотных летательных аппаратов. Вестник Тверского государственного университета. Серия: биология и экология. 2019;(3 (55)):69-78. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41248276>
21. Греков О. А. Применение современных технических средств и новых информационных технологий в системе авиационного учета численности охотничьих животных. XXIX Международный конгресс биологов-охотоведов: сб. матер. Ч. 1. М., 2009. С. 313-315.
22. Пузаченко Ю. Г., Желтухин А. С., Сандлерский Р. Б. Организация зимних маршрутных учетов с использованием GPS и дистанционной информации. Вестник охотоведения. 2010;4(1):98-117.
23. Melin M., Packalen P., Matala J., Mehtätalo L., Pusenius J. Assessing and modeling moose (*Alces alces*) habitats with airborne laser scanning data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013; (23): 389-396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.11.004>
24. Серёдкин И. В., Борисов М. Ю., Лисицын Д. В. Изучение и охрана бурого медведя в заказнике «Восточный». Проблемы изучения и охраны животного мира на севере: матер. Междунар. конф. 2013. С. 184-186.
25. Петруненко Ю. К., Середкин И. В., Микелл Д. Г. Возможность использования GPS-ошейников для изучения экологии амурского тигра. Современные проблемы охотничьего хозяйства Казахстана и сопредельных стран: Междунар. конф. 2014. С. 198-202.
26. Авдеева Е. В. Правовое регулирование государственного мониторинга объектов животного мира, занесенных в Красную книгу РФ. Вестник Удмуртского университета. Серия: экономика и право. 2013; (1): 150-155. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-gosudarstvennogo-monitoringa-obektov-zhivotnogo-mira-zanesennyh-v-krasnuyu-knigu-rf>
27. Панченко Д. В., Данилов П. И., Паасиваара А., Красовский Ю. А. Лесной северный олень в заповеднике «Костомукшский». Вестник охотоведения. 2018; (4): 284-288. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36551252>
28. Глушков В. М., Росляков В. В. Программа обработки данных учета охотничьих животных: свид. №2016614970 Российская Федерация. № 2016610572; заявл. 11.01.2016; опубл. 20.06.2016. Реестр программ для ЭВМ «1С». Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2016617535&TypeFile=html
29. Глушков В. М., Росляков В. В. Программа регистрации данных учета охотничьих животных: свид. №2015617348 Российская Федерация. № 2015614344; заявл. 15.05.2015; опубл. 20.08.2015. Реестр программ для ЭВМ «1С». Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015617348&TypeFile=html
30. Азбукина Е. В., Ильина Н. А., Кузьмина О. А., Томилин А. М., Томилин Е. А., Тулупова Н. С. Программный комплекс планирования, сопровождения, контроля и автоматизированной обработки данных зимнего маршрутного учета (ПК ЗМУ): свид. 2015610760 Российская Федерация. № 2014661753; заявл. 20.11.2014; опубл. 20.02.2015. Реестр программ для ЭВМ «1С». Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015610760&TypeFile=html

31. Подолский С. А., Кастрикин В. А., Левик Л. Ю., Гордеева Я. С. Методология использования фотоловушек для оценки обилия и сезонных изменений населения млекопитающих на примере Зейского заповедника. Байкальский зоологический журнал, 2019; (2 (25)): 6-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41300187>
32. Домашов И. А., Шарма Костубх, Жумабай уулу Кубанычбек. Фотоловушки и их использование для учета снежного барса (*Panthera uncia*) в Кыргызстане. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2015; (10): 8-9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25303752>
33. Харитонов М. А., Андрианов А. В., Царев С. А., Емельянова А. А. Опыт применения дистанционных методов сбора информации об объектах животного мира и охотничьих ресурсах на территории Федерального государственного бюджетного учреждения «Безбородовское ГООХ». Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология. 2015; (1). 112-125. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23454305>
34. Греков О. А. Учет численности охотничьих животных с применением современных авиационных платформ, новых технических средств и информационных технологий. Информация и космос. 2016; (2): 83-89. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26134150>
35. Медведев А. А., Алексеенко Н. А., Карпенко И. О. Мониторинг животного мира на особо охраняемых природных территориях с помощью беспилотных летательных аппаратов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015; (6): 304-309. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-zhivotnogo-mira-na-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriyah-s-pomoschyu-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov>
36. Моргунов Н. А., Кульпин А. А., Ломанова Н. В., Масленников А. В., Пономаренко С. Л. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для учета диких копытных животных. Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2016; (20 (25)): 46-52. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28888228>
37. Греков О. А. Организация и проведение авиаучета охотничьих животных с использованием беспилотных авиационных систем самолетного и вертолетного типов. Информация и космос. 2017; (4): 111-118. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32261227>
38. Еськов Е. К. Обнаружение диких животных фото- и тепловизионными средствами на беспилотных летательных аппаратах. Биологические ресурсы: состояние, использование и охрана: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Киров: Вятская ГСХА, 2015. С. 64-66.
39. Огурцов С. С. Некоторые возможности использования БПЛА на заповедной территории (на примере квадрокоптера в Центрально-лесном заповеднике). Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: современное состояние и перспективы: матер. Междунар. конф. Кологрив, 2018. С. 273-278. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36626861>
40. Мячкина Н. Область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в современном мире. Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ ИМ. В.Г. Шухова. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2017. С. 4736-4739. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35108712>
41. Spaan D., Burke C., McAree O., Aureli F., Rangel-Rivera C. E., Hutschenreiter A., Longmore S. N., McWhirter P. R., Wich S.A. Thermal Infrared Imaging from Drones Offers a Major Advance for Spider Monkey Surveys. Drones. 2019; (3 (2)): 19. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3020034>
42. Технология «БПЛА + тепловизионная съемка» для исследования и охраны дикой природы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.xinhuanet.com/science/2019-07/31/c_138271247.htm (дата обращения: 2.02.2020)
43. Longmore S. N., Collins R. P., Pfeifer S., Fox S. E., Mulero-Pazmany M., Bezombes F., Goodwin A., Ovelar M. J. D. Adapting astronomical source detection software to help detect animals in thermal images obtained by unmanned aerial systems. Intern. J. Remote Sensing. 2017; (38): 8-10. URL: <https://arxiv.org/pdf/1701.01611v1.pdf>
44. Савинецкий А. Б., Шупейко Н. П. Программная система для автоматизации анализа аэрофотоснимков с целью учёта животных: свид. №2015616424 Российская Федерация; заявл. 15.05.2015; опубл. 20.08.2015. Реестр программ для ЭВМ. 1 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015616424&TypeFile=html
45. Просеков А. Ю., Рада А. О., Кузнецов А. Д., Шумелев Д. И., Прокопьев Г. О., Тептюк А. Д. Программа для обработки тепловизионных снимков и видеоматериалов с целью определения точных координат экстремумов интенсивности инфракрасного излучения: свид. №2019615436 Российская Федерация; заявл. 18.04.2019; опубл. 26.04.2019. Реестр программ для ЭВМ. 1 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2019615436&TypeFile=html

References

1. Yushkevich N. T. *Model' ustoychivogo razvitiya okhotnich'ego khozyaystva v Belarusi*. [Model of sustainable development of hunting in Belarus]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* = Proceedings of BSTU. 2018; (1(208)): 61-65. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35093806>
2. Kaledin A. P., Yuldashbaev Yu. A., Nikolaev A. A., Ostapchuk A. M. *Voprosy sokhraneniya okhotnich'ikh resursov i ikh stoimostnoy otsenki v Rossiyskoy Federatsii i Moskovskoy oblasti*. [Problems of hunting resources conservation and their cost evaluation in the Russian Federation and Moscow region]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal* = The International Technical-Economic Journal. 2016. (4): 24-30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27187064>
3. Glushkov V. M. *Nezakonnaya dobycha losya v Rossii: vzglyad iznutri*. [Illegal moose hunting in Russia: from inside]. *Gumanitarnye aspekty okhoty i okhotnich'ego khozyaystva: sb. mater. II mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Humanitarian aspects of hunting and hunting economy: Collection of Proceedings of the 2nd

International scientific and practical Conference.]. Irkutsk: *ООО «Izdatel'stvo Ottisk»*. 2014. pp. 49-61. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22726340>

4. Safonov V. G., Glushkov V. M. *O neobkhodimosti sovershenstvovaniya upravleniya resursami dichi*. [On the need of improving game resource management]. *Agrarnaya nauka Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2016;(1 (50)):51-56. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25476141>

5. Es'kov E. K., Grekov O. A. *Organizatsiya avioucheta okhotnich'ikh zhivotnykh s ispol'zovaniem pilotiruemyykh i bespilotnykh aviatsionnykh kompleksov*. [Organization of aerial accounting of game animals using manned and unmanned aircraft systems]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2018;15(4):238-241. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36551242>

6. Borodulin V. A. *Podkhody k vyboru sposoba kolichestvennoy otsenki naseleniya losya na severo-zapade lesnoy zony*. [Approaches to choosing a method for quantifying the moose population in the north-west of the forest zone]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy akademii*. 2013;(205):25-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21526421>

7. Kondratenkov I. A. *Nekotorye aspekty teorii zimnego marshrutnogo ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh*. [Some aspects of the theory of winter route tracking of hunting animals]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2018; (1):26-48. (In Russ.).

8. Chervonnny V. V. *Sravnitel'nyy analiz raznykh metodov ucheta kopytnykh i otsenka ikh rezul'tatov*. [Comparative analysis of different methods of accounting for ungulates and evaluation of their results]. *Nauchnye vedomosti BelGU*. 2014; (17 (188)): 86-94. (In Russ.).

9. Glushkov V. M., Ketova N. S. *ZMU: otsenka raboty dvukh metodov*. [ZMU: evaluation of two methods]. *Gumanitarnye aspekty okhoty i okhotnich'ego khozyaystva* = Humanitarian aspects of hunting and hunting economy. 2020;(1(26)):5-28. (In Russ.). URL: <http://www.biosphere-sib.ru/scientific-practical-journals/Humanitarian-aspects-of-hunting.php>

10. Akhremenko A. K., Sedalishchev V. T. *Ekologicheskie osobennosti burogo medvedya (Ursus arctos L., 1758) v Yakutii*. [Ecological features of the brown bear (Ursus arctos L., 1758) in Yakutia]. *Ekologiya* = Russian Journal of Ecology. 2008;(3):201-205. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9976745>

11. Kozorez A. I. Гуринович А. В. *Nepreodolimy protivorechiya zimnego marshrutnogo ucheta dikikh zhivotnykh*. [Intractable contradictions of winter route accounting of wild animals.]. *Trudy BGTU. Seriya 1: lesnoe khozyaystvo, prirodoopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyаемых ресурсов* = Proceedings of BSTU. 2019;(2 (222)): 149-155. (In Belarus). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nepreodolimy-protivorechiya-zimnego-marshrutnogo-ucheta-dikikh-zhivotnykh>

12. Stepanova V. V. *Obosnovanie i opyt provedeniya anketno-oprosnogo metoda ucheta volkov v Yakutii*. [Justification and experience of using of questionnaire and survey method of registration wolves in Yakutia]. *Vestnik IrGSKHA*. 2017; (83):158-163. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30547406>

13. Chelintsev N. G. *Matematicheskie osnovy ucheta zhivotnykh*. [Mathematical foundations of animal accounting]. *Byulleten' moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy* = Bulletin of Moscow Society of Naturalists. 2013;118(1):3-15. (In Russ.).

14. Chervonnny V. V. *Uchet okhotnich'ikh zverey progonom*. [Accounting for hunting animals by running]. *Metody ucheta okhotnich'ikh zhivotnykh v lesnoy zone: sb. statey*. [Methods of accounting for hunting animals in the forest zone: collection of articles]. 1973. pp. 29-35. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28336058>

15. Pysin V. G., Makarov V. A. *Razmeshchenie uchetykh ploshchadok po territorii ugody dlya organizatsii ucheta chislennosti vidovogo sostava okhotresurov metodom progona*. [Placement of registration areas across the territory of grounds for accounting organization of the number of species composition of hunting resources by the run method]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2017;14(1):35-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28961453>

16. Maller O. N., Savchenko I. A., Emel'yanov V. I., Putintsev A. V. *Aviauchet kopytnykh na territorii Kans-koy gruppy rayonov Krasnoyarskogo kraja*. [Aerial surveys of ungulates on the territory of Kansk group districts of Krasnoyarsk krai]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya* = Success of modern science and education. 2017;(1):66-70. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28130000>

17. Senchik A. V., Ryabchenko A. V., Bormotov M. A., Guretskaya Yu. S. *Sostoyanie populyatsii dikikh kopytnykh zhivotnykh v Priamur'e na osnovanii aviaucheta 2017 goda*. [The state of the population of wild ungulates in the Amur region based on the 2017 air census]. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'* = Scientific and practical peer-reviewed journal. 2017; (4(18)):127-133. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32319101>

18. Simonov S. A., Panchenko D. V., Tirronen K. F., Belkin V. V. *Opyt primeneniya aviatsii dlya ucheta teterevinykh ptits v Karelii*. [Experience of aerial surveys for countings of tetraonids in Karelia]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2018;(4):242-245. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36551243>

19. Kozlov V. M., Khalturin S. V. *Modelirovanie ucheta teterevinykh ptits*. [Results of simulation of grouses' accounting]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Science Euro-North-East. 2017;(6(61)):69-73. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32375882>

20. Morgunov N. A., Lomanova N. V., Maslennikov A. V., Shedu A. V. *Rezul'taty aviaucheta losya v FGBU GOOKh «Medveditsa» i v rybnskom rayone Yaroslavl'skoy oblasti v 2017 g. s primeneniem bespilotnykh leta-tel'nykh apparatov*. [Results of aerial elk counting in the Hunting Enterprise 'Medveditsa' and in the rybnsk district of the Yaroslavl' region in 2017 with the use of unmanned aerial vehicles]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: biologiya i ekologiya* = Herald of TVGU. Series: Biology and Ecology. 2019;(3 (55)):69-78. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41248276>

21. Grekov O. A. *Primenenie sovremennykh tekhnicheskikh sredstv i novykh informatsionnykh tekhnologiy v sisteme aviatsionnogo ucheta chislennosti okhotnich'ikh zhyvotnykh*. [Application of modern technical means and new information technologies in the system of aviation accounting of the number of hunting animals]. *XXIX Mezhdunarodnyy kongress biologov-okhotovedov: sb. mater.* [XXIXth International Congress of biologist-hunters: collection of proceedings]. Part. 1. Moscow., 2009. pp. 313-315.
22. Puzachenko Yu. G., Zheltukhin A. S., Sandlerskiy R. B. *Organizatsiya zimnikh marshrutnykh ucheto v ispol'zovanii GPS i distantsionnoy informatsii*. [Organization of winter route tracking using GPS and remote information]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2010;4(1):98-117. (In Russ.).
23. Melin M., Packalen P., Matala J., Mehtälä L., Pusenius J. Assessing and modeling moose (*Alces alces*) habitats with airborne laser scanning data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013;(23):389-396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.11.004>
24. Seredkin I. V., Borisov M. Yu., Lisitsyn D. V. *Izucheniye i okhrana burogo medvedya v zakaznike «Vostochnyy»*. [Study and protection of the brown bear in the Vostochny nature reserve]. *Problemy izucheniya i okhrany zhyvotnogo mira na severe: mater. mezhdunar. konf.* [Problems of studying and protecting the animals in the North: Proceedings of the International Conference.]. 2013. pp. 184-186.
25. Petrunenko Yu. K., Seredkin I. V., Mikell D. G. *Vozmozhnost' ispol'zovaniya GPS-osheynikov dlya izucheniya ekologiy amurskogo tigra*. [The possibility of using GPS collars to study the ecology of the Amur tiger]. *Sovremennyye problemy okhotnich'ego khozyaystva Kazakhstana i sopredel'nykh stran: mezhdunar. konf.* [Modern problems of hunting economy of Kazakhstan and neighboring countries: international conf.]. 2014. pp. 198-202.
26. Avdeeva E. V. *Pravovoe regulirovaniye gosudarstvennogo monitoringa ob'ektov zhyvotnogo mira, zanesennykh v Krasnyuyu knigu RF*. [Legal regulation of state monitoring of animal world objects listed in the Red Book of the Russian Federation]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya ekonomika i pravo* = Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law. 2013;(1):150-155. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovaniye-gosudarstvennogo-monitoringa-obektov-zhyvotnogo-mira-zanesennykh-v-krasnuyu-knigu-rf>
27. Panchenko D. V., Danilov P. I., Paasivaara A., Krasovskiy Yu. A. *Lesnoy severnyy olen' v zapovednike «Kostomukhskiy»*. [Wild forest reindeer in the "Kostomukhskiy" state nature reserve]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2018;(4): 284-288. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36551252>
28. Glushkov V. M., Roslyakov V. V. *Programma obrabotki dannykh ucheta okhotnich'ikh zhyvotnykh*. [Program for processing data for tracking hunting animals]. Certificate of the Russian Federation. no. 2016614970, 2016. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2016617535&TypeFile=html
29. Glushkov V. M., Roslyakov V. V. *Programma registratsii dannykh ucheta okhotnich'ikh zhyvotnykh*. [Program for registering data for hunting animals]. Certificate of the Russian Federation. no. 2015617348, 2015. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015617348&TypeFile=html
30. Azbukina E. V., Il'ina N. A., Kuz'mina O. A., Tomilin A. M., Tomilin E. A., Tulupova N. S. *Programmnyy kompleks planirovaniya, soprovozhdeniya, kontrolya i avtomatizirovannoy obrabotki dannykh zimnego marshrutnogo ucheta (PK ZMU)*. [Software package for planning, maintenance, control and automated data processing of winter route accounting (PC ZMU)]. Certificate of the Russian Federation. no. 2015610760, 2015. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015610760&TypeFile=html
31. Podolskiy S. A., Kastrikin V. A., Levik L. Yu., Gordeeva Ya. S. *Metodologiya ispol'zovaniya fotolovushek dlya otsenki obilya i sezonnykh izmeneniy naseleniya mlekoпитayushchikh na primere Zeyskogo zapovednika*. [Methodology of using camera traps to estimate abundance and seasonal changes in the population of mammals on the example of the Zeya reserve]. *Baykal'skiy zoologicheskii zhurnal*. 2019;(2 (25)): 6-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41300187>
32. Domashov I. A., Sharma Kostubkh, Zhumabay uulu Kubanychbek. *Fotolovushki i ikh ispol'zovanie dlya ucheta snezhnogo barsa (Panthera uncia) v Kyrgyzstane*. [Camera traps and using of this technology for snow leopard (*Panthera uncia*) population assessment in Kyrgyzstan]. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*. 2015;(10):8-9. (In Kyrgyzstan). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25303752>
33. Kharitonov M. A., Andrianov A. V., Tsarev S. A., Emel'yanova A. A. *Opyt primeneniya distantsionnykh metodov sbora informatsii ob ob'ektakh zhyvotnogo mira i okhotnich'ikh resursakh na territorii Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetskogo uchrezhdeniya «Bezborodovskoe GOOKh»*. [Experience in using remote methods of collecting information about wildlife objects and hunting resources on the territory of the Federal state budgetary institution «Bezborodovskoe GOH»]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: biologiya i ekologiya* = Herald of TVGU. Series: Biology and Ecology. 2015;(1):112-125. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23454305>
34. Grekov O. A. *Uchet chislennosti okhotnich'ikh zhyvotnykh s primeneniem sovremennykh aviatsionnykh platform, novykh tekhnicheskikh sredstv i informatsionnykh tekhnologiy*. [Accounting for the number of hunting animals using modern aviation platforms, new technical means and information technologies]. *Informatsiya i kosmos* = Information and Space. 2016;(2):83-89. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26134150>
35. Medvedev A. A., Alekseenko N. A., Karpenko I. O. *Monitoring zhyvotnogo mira na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov*. [Fauna monitoring at especially protected natural territories with the help of unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015;(6):304-309. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-zhyvotnogo-mira-na-osobo-okhranyaemykh-prirodnih-territoriyah-s-pomoschyu-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov>

36. Morgunov N. A., Kul'pin A. A., Lomanova N. V., Maslennikov A. V., Ponomarenko S. L. *Opyt primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya ucheta dikikh kopytnykh zhivotnykh*. [Experience of using of unmanned aircrafts for calculation of wild ungulates]. *Vestnik rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta*. 2016;(20 (25)):46-52. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28888228>
37. Grekov O. A. *Organizatsiya i provedenie aviaucheta okhotnich'ikh zhivotnykh s ispol'zovaniem bespilotnykh aviatsionnykh sistem samoletnogo i vertoletnogo tipov*. [Organizing and conducting an aerial survey of hunting animals with the use of unmanned aircraft systems of aircraft and helicopter types]. *Informatsiya i kosmos = Information and Space*. 2017;(4):111-118. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32261227>
38. Es'kov E. K. *Obnaruzhenie dikikh zhivotnykh foto- i teplovizionnymi sredstvami na bespilotnykh letatel'nykh apparatakh*. [Detection of wild animals by photo and thermal imaging means on unmanned aerial vehicles]. *Biologicheskie resursy: sostoyanie, ispol'zovanie i okhrana: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Biological resources: condition, use and protection: mater. international. scientific-practical conf.]. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2015. pp. 64-66.
39. Ogurtsov S. S. *Nekotorye vozmozhnosti ispol'zovaniya BPLA na zapovednoy territorii (na primere kvadroptera v Tsentral'no-lesnom zapovednike)*. [Some possibilities of using the UAVON protected area (on the example of a quadcopter in the Central forest reserve)]. *Vklad osobo okhranyaemykh prirodnnykh territoriy v ekologicheskuyu ustoychivost' regionov: sovremennoe sostoyanie i perspektivy: mezhdunar. konf.* [Contribution of specially protected natural territories to the ecological stability of regions: current state and prospects: International Conference.]. Kologriv, 2018. pp. 273-278. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36626861>
40. Myachkina N. *Oblast' primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) v sovremennom mire*. [The field of application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the modern world]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU IM. V.G. Shukhova*. [International scientific and technical conference of young scientists of BSTU NAMED after V. G. Shukhov]. Belgorod: Belgo-rodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2017. pp. 4736-4739. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35108712>
41. Spaan D., Burke C., McAree O., Aureli F., Rangel-Rivera C. E., Hutschenreiter A., Longmore S. N., McWhirter P. R., Wich S. A. Thermal Infrared Imaging from Drones Offers a Major Advance for Spider Monkey Surveys. *Drones*. 2019;(3(2)):19. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3020034>
42. *Tekhnologiya «BPLA + teplovizionnaya s"emka» dlya issledovaniya i okhrany dikoy prirody*. [UAV + thermal imaging technology for wildlife research and protection]. Available at: http://www.xinhuanet.com/science/2019-07/31/c_138271247.htm (accessed: 2.02.2020).
43. Longmore S. N., Collins R. P., Pfeifer S., Fox S. E., Mulero-Pazmany M., Bezombes F., Goodwin A., Ovelar M. J. D. Adapting astronomical source detection software to help detect animals in thermal images obtained by unmanned aerial systems. *Intern. J. Remote Sensing*. 2017;(38):8-10. URL: <https://arxiv.org/pdf/1701.01611v1.pdf>
44. Savinetskiy A. B., Shupeyko N. P. *Programmnaya sistema dlya avtomatizatsii analiza aerofotosnimkov s tsel'yu ucheta zhivotnykh*. [Software system for automating the analysis of aerial photos in order to account for animals]. Certificate of the Russian Federation. no. 2015616424, 2015. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015616424&TypeFile=html
45. Prosekov A. Yu., Rada A. O., Kuznetsov A. D., Shumelev D. I., Prokop'ev G. O., Teptyuk A. D. *Programma dlya obrabotki teplovizionnykh snimkov i videomaterialov s tsel'yu opredeleniya tochnykh koordinat ekstremumov intensivnosti infrakrasnogo izlucheniya*. [Program for processing thermal images and video materials in order to determine the exact coordinates of the extremes of infrared radiation intensity]. Certificate of the Russian Federation. no. 2019615436, 2019. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2019615436&TypeFile=html

Сведения об авторе

✉ **Просеков Александр Юрьевич**, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, д. 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650043, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5630-3196>

Information about the author

✉ **Alexander Yu. Prosekov**, Doctor of Technical Science, professor, Head of the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650043, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5630-3196>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Вариация числа копий (CNV) как перспективный генетический маркер: распространение, методы валидации и гены-кандидаты в геномах сельскохозяйственных животных (обзор)

© 2020. О. А. Кошкина, Т. Е. Денискова ✉, Н. А. Зиновьева

ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Вариация числа копий (CNV) – это повторяющиеся участки генома, размером от одной тысячи до нескольких миллионов пар оснований, варьирующие между особями в популяции. Благодаря большому покрытию генома по сравнению с SNP-маркерами, CNV является важным источником генетической изменчивости и рассматривается в настоящее время как альтернативный тип ДНК-маркеров. Основное внимание уделяется идентификации регионов CNV (CNVR), перекрывающихся с генами и локусами количественных признаков (QTL) в геномах сельскохозяйственных животных. В обзоре обобщены и проанализированы результаты исследований по CNV у различных видов сельскохозяйственных животных, включая идентификацию генов-кандидатов, локусы которых перекрываются с областями CNV, а также дана краткая характеристика методических подходов для изучения вариации числа копий. У крупного рогатого скота было идентифицировано от 51 до 1265 CNVR с долей покрытия генома от 0,5 до 20 %, у свиней – 565 CNVR и 5,84 %, у коз – 978 CNVR и 8,96 %, у овец – 3488 CNVR и 2,7 %, соответственно. Локусы функциональных генов-кандидатов, связанных с экономически-значимыми признаками, перекрывались с CNVR у всех видов сельскохозяйственных животных. Были идентифицированы гены, ассоциированные с показателями роста и развития (MYH3 и GBP4 у крупного рогатого скота; ANP32B, GYS1 и CAV1 у свиней; MYLK4 у коз; SHE, BAG4, PIGY и ORMDL1 у овец), влияющие на репродуктивные признаки и плодовитость (PRP1 и PRP6 у коз, PRLR у крупного рогатого скота, PTGS1 у овец), связанные с мясной продуктивностью (KDM5B, ADAM8 и SHH у коз), ответственные за различные фенотипы окраски кожи или шерсти (KIT у свиней; ASIP, AHCU и ITCH у овец и коз) и вовлечённые в регуляцию обменных процессов (PPARA, RXRA, ADD1, FASN и PPP1CA у овец). Анализ мирового опыта продемонстрировал, что идентифицированные CNV могут быть предложены как потенциальные кандидаты для селекции по экономически значимым признакам у сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: генетический полиморфизм, организация генома, локусы количественных признаков (QTL), ДНК-чипы, хозяйственно полезные признаки

Благодарности: настоящий обзор подготовлен в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме № 0445-2019-0026 (AAAA-A18-118021590138-1).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кошкина О. А., Денискова Т. Е., Зиновьева Н. А. Вариация числа копий (CNV) как перспективный генетический маркер: распространение, методы валидации и гены-кандидаты в геномах сельскохозяйственных животных (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(4):355-368. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.355-368>

Поступила: 23.06.2020

Принята к публикации: 23.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Copy number variation (CNV) as a promising genetic marker: distribution, validation methods and candidate genes in genomes of livestock species (review)

© 2020. Olga A. Koshkina, Tatiana E. Deniskova ✉, Natalia A. Zinovieva

L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow Region, Russian Federation

Copy number variations (CNVs) are repetitive genome segments, ranging from one thousand to several million base pairs and varying between individuals in a population. Due to a larger genome coverage compared to SNP markers, CNVs are important sources of genetic variation and are currently considered as an alternative type of DNA markers. The identification of CNV regions (CNVRs) which overlap with genes and quantitative trait loci (QTLs) in livestock genomes are of the greatest interest. In the review, the results of studies on CNV in various livestock species, are summarized and analyzed including the identification of candidate genes whose loci overlap with CNV regions. In addition, the methodological approaches for detection of copy number variations are briefly described. The number of identified CNVRs and a genome coverage ratio were 51-1265 and 0.5-20 % in cattle, 565 CNVRs and 5.84 % in pigs, 978 CNVR and 8.96 % in goats, 3488 CNVR and 2.7 % in sheep. Loci of functional candidate genes associated with economically significant traits overlap with CNVR in all livestock species. There were identified genes associated with growth and development indicators (MYH3 and GBP4 in cattle;

ANP32B, GYS1 and CAV1 in pigs; MYLK4 in goats; SHE, BAG4, PIGY and ORMDL1 in sheep); affecting the reproductive traits and fertility (PRP1 and PRP6 in goats; PTGS1 in sheep); associated with meat productivity (KDM5B, ADAM8 and SHH in goats); responsible for various coat and skin colour phenotypes (KIT in pigs; ASIP, AHCY and ITCH in sheep and goats) and involved in the regulation of metabolic processes (PPARA, RXRA, ADD1, FASN and PPPICA in sheep). The analysis of international experience showed that identified CNVs could be proposed as potential candidates for selection according to economically significant traits in livestock.

Keywords: genetic polymorphism, genome organization, quantitative trait loci (QTL), DNA chips, economically significant traits

Acknowledgment: the review was prepared within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation according to the theme No. 0445-2019-0026 (AAAA-A18-118021590138-1).

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

For citation: Koshkina O. A., Deniskova T. E., Zinovieva N. A. Copy number variation (CNV) as a promising genetic marker: distribution, validation methods and candidate genes in genomes of livestock species (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):355-368. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.355-368>

Received: 23.06.2020

Accepted for publication: 23.07.2020

Published online: 24.08.2020

Благодаря активному развитию методов генотипирования с использованием ДНК-чипов в геномах сельскохозяйственных животных было обнаружено множество геномных субмикроскопических структурных вариаций. Одной из основных генетических форм таких вариаций, широко распространенных в геноме, является вариация числа копий (copy number variation, CNV) [1]. Исследования CNV способствуют лучшему пониманию эволюционного механизма одомашнивания сельскохозяйственных животных и их адаптации к различным условиям окружающей среды, обусловленной такими механизмами, как дозы генов и изменения структуры транскриптов – продуктов активности ферментов РНК-полимераз. Вариация числа копий изменяет экспрессию генов и, тем самым, оказывает влияние на фенотипические признаки особей путем делеции (выпадение участков хромосомы) или дублирования генов в регионах CNV (CNVR). Данный аспект дает основания предположить, что CNV могут оказывать значительное влияние на экономически значимые признаки сельскохозяйственных животных.

Цель работы – проанализировать имеющийся мировой опыт по поиску регионов с вариацией числа копий, в том числе с указанием попадающих в них генов и локусов количественных признаков, и показать применяемые методические подходы для подготовки научной базы для проведения экспериментов по поиску CNV в геномах отечественных пород сельскохозяйственных животных.

Материал и методы. В качестве материала для исследования были использованы литературные источники, посвященные проблеме организации генома у сельскохозяйственных животных и содержащие результаты

поиска регионов с вариацией числа копий. Поиск научных источников осуществлялся в базе данных PubMed®/The National Center for Biotechnology Information (NCBI) (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>). В поисковых запросах были использованы следующие основные комбинации ключевых слов: copy number variation, CNV, CNV detection, CNV livestock, CNV cattle, CNV sheep, CNV goat, CNV pig, copy number variation pig, copy number variation cattle, copy number variation sheep, copy number variation goat. Альтернативная стратегия поиска заключалась в просмотре списка цитирований в публикациях, найденных ранее в базе данных PubMed/NCBI.

Глубина поиска литературных источников, дающих общую характеристику феномена CNV и характеризующих методы идентификации регионов CNV, составляла 18 лет (с 2002 по 2020 гг.). Глубина поиска литературных источников, описывающих результаты исследований по наличию CNV в геномах сельскохозяйственных животных, не была строго определена в связи с тем, что данный подход нашел свое применение в сельскохозяйственной генетике сравнительно недавно (с 2012 г.).

Литературные источники были включены в обзор по следующим критериям: актуальность; публикация в рецензируемых изданиях; наличие секции обсуждения полученных результатов с другими авторами; детальное описание методологии работы; описание генов-кандидатов, перекрывающихся в регионах CNV (предпочтение отдавалось тем источникам, где функция генов-кандидатов была четко обозначена).

Основная часть. Что такое CNV? Краткая характеристика и потенциальные аспекты прикладного использования.

Вариация числа копий – это полиморфные участки генома, представляющие собой сегменты ДНК размером от одной тысячи до нескольких миллионов пар оснований, варьирующих по сравнению с эталонным или референсным геномом [1].

CNV оказывают влияние на экспрессию генов, фенотипическое разнообразие и эволюционную адаптационную способность животных посредством включения широкого спектра механизмов, таких как дозировка генов и изменение структуры транскриптов [2]. Частота мутаций CNV варьирует от $1,1 \times 10^{-2}$ [3] до 1×10^{-8} на locus в расчете на поколение [4, 5], что отражает разнообразные процессы, с помощью которых создаются CNV. Существует четыре вида механизмов образования CNV: неаллельные гомологичные рекомбинации (Nonallelic Homologous Recombination, NaHR), также известны под названием неравного кроссинговера; негомологичное соединение концов (Non-homologous End-Joining, NHEJ); остановка вилки репликации и переключение матрицы (Fork Stalling and Template Switching, FoSTeS); L1-опосредованная ретротранспозиция [6].

Вариация числа копий охватывает больше нуклеотидных полиморфизмов ($\approx 1\%$ генома индивидуума), чем однонуклеотидные полиморфизмы SNP ($\approx 0,1\%$) [7, 8], внося тем самым значительный вклад в разнообразие генетических вариаций в геноме [9].

CNV отличаются от таких типов геномных вариаций, как инсерции (встраивание фрагментов хромосом в новый locus) и делеции, тем, что последние, как правило, имеют размеры менее 1 Kb [1]. CNV также отличаются и от сегментных дупликаций (SD), имеющих длину более 1 Kb с идентичностью последовательности не менее 90% между дублированными фрагментами, которые часто не являются полиморфными в популяции [10]. Вероятно, что SD когда-то были CNV, которые впоследствии закрепились в популяции.

CNV могут присутствовать в одних и тех же или перекрывающихся областях генома у нескольких индивидуумов. Такие области называют регионами или областями вариации числа копий (CNVR). В литературе имеются данные о том, что CNVR преимущественно расположены вне генных областей [11, 12, 13], и что те CNV, которые перекрывают гены, с большей вероятностью, будут представлены дупликациями (удвоение участка хромосомы), чем делециями [7, 14]. Вероятно, это связано

с тем, что делеции оказывают более разрушительный эффект на функции генов, чем дупликации, и поэтому подвергаются большему избирательному отбору. G. M. Cooper и соавторы [15] предполагают, что CNV, которые перекрывают SD, с большей вероятностью будут представлены в генных регионах, в то время как CNV, которые не перекрывают SD, представлены в бедных генами участках генома.

В последние годы вариация числа копий все чаще рассматривается как важный источник генетического и фенотипического разнообразия [16, 17, 18]. В геноме человека был обнаружен ряд CNV, связанных с заболеваниями, включающими аутоиммунные нарушения, шизофрению, аутизм, а также инфекционные и сердечно-сосудистые заболевания [19, 20]. Кроме этого, доказана роль CNV в фармакокинетике лекарственной эффективности и токсичности [21]. Таким образом, системный анализ и характеристика CNV способствуют лучшему пониманию генетической вариабельности и являются важным инструментом для расшифровки роли CNV в наследуемости сложных признаков. В последние годы был проведен ряд исследований CNV у различных видов млекопитающих, включая человека [22], крупный рогатый скот [23, 24], коз [25], овец [26, 27], собак [28], кроликов [29] и свиней [30, 31].

Методы поиска и подтверждения присутствия CNV в геноме. В животноводстве, согласно имеющимся данным, CNV могут влиять на экономически значимые признаки, поэтому могут быть интегрированы в программы селекции по ДНК-маркерам у свиней [32], коз [33], овец [34], крупного рогатого скота [35]. В связи с ростом потребительских требований к качеству продукции животноводства и развитием маркерной селекции, в современном мире возникает потребность использовать CNV в качестве молекулярно-генетических маркеров для проведения эффективного отбора по экономически значимым признакам и профилактики заболеваний сельскохозяйственных животных.

С развитием высокоплотных платформ для генотипирования и секвенирования нового поколения (NGS) идентификация CNV становится результативным подходом в геномной селекции животных, создавая огромное количество возможностей для повышения генетического прогресса в животноводстве.

В настоящее время разработан широкий спектр молекулярно-генетических методов для

установления вариации числа копий, включая традиционное кариотипирование, флуоресцентный гибридизационный анализ *in situ* (FISH), скрининг количества копий на основе микрочипов, мультиплексная амплификация лигированных зондов (MLPA), секвенирование нового поколения (NGS), сравнительная геномная гибридизация (CGH) и количественная полимеразная цепная реакция (qPCR). Каждый метод имеет свои преимущества, и выбор конкретного подхода в значительной степени зависит от области применения, используемого оборудования, его разрешающей способности, рабочей нагрузки и стоимости анализа [36].

Традиционное кариотипирование позволяет обнаружить структурные вариации по всему геному, но его разрешение ограничено ($> 5\text{--}10\text{ Mb}$).

FISH-анализ для целевых регионов рутинно используется в течение многих лет и требует либо метафазных хромосом (по аналогии с кариотипированием), либо межфазных ядер (разрешение около 100 Kb).

Сравнительная геномная гибридизация является наиболее широко используемой платформой благодаря её низкой стоимости и возможности быстрого, точного и одновременного анализа многих генов и мутаций [37, 38]. В дополнении к CGH была разработана платформа SNP-CGH, в основе которой лежит высокопроизводительное SNP-генотипирование, и значения плотности SNP, полученные из каждого образца, используются для обнаружения CNV в каждом отдельном случае. Данный подход отличается высокой производительностью и пригоден для проведения ассоциативных исследований [39].

Для целенаправленного скрининга соответствующих генов и окружающих их регуляторных областей отдается предпочтение методам с фиксированным количеством копий, таким как MLPA, микрочипы и qPCR [40, 41]. Технология MLPA позволяет выявлять широкий диапазон генетических нарушений – от точечных мутаций единичных нуклеотидов до делеций/дупликаций обширных хромосомных регионов. Большинство современных биочипов являются SNP-микрочипами, с помощью которых можно исследовать более миллиона однонуклеотидных замен одновременно. С развитием ДНК-чипов высокой плотности было достигнуто более высокое разрешение [42], что способствует выявлению значительно меньших (до нескольких пар

оснований) CNV в геномах сельскохозяйственных животных. Недостатком ДНК-чипов является их высокая стоимость. Несмотря на преимущества биочипов высокой плотности, сегодня их частично замещают технологией секвенирования нового поколения (NGS). NGS – наиболее высокопродуктивная технология исследования генома [43], однако также имеющая недостатки, главным из которых является высокая частота так называемых «indel error rate» (степень ошибок при выявлении инсерций / делеций) [44]. Количественная ПЦР в реальном времени обладает рядом преимуществ перед альтернативными методами: низкая стоимость расходных материалов; менее высокие требования к приборной базе; быстрота анализа; высокая чувствительность и открытый формат (не зависящий от одного поставщика). Количественная ПЦР – это современный «золотой» стандарт анализа экспрессии генов [36], который находит все большее применение для подтверждения присутствия регионов CNV в геноме.

Исследования вариации числа копий у крупного рогатого скота. С использованием целого ряда платформ были построены и доработаны тонкие карты CNV для человека и других видов млекопитающих [45, 46, 47, 48]. Среди сельскохозяйственных животных наибольшее число исследовательских работ по идентификации CNV было проведено в геноме крупного рогатого скота. По данным различных исследований, у крупного рогатого скота идентифицировано от 51 до 1265 CNVR [46, 48], при этом оценки доли генома, содержащей CNV регионы, варьируют от 0,5 до 20 % [48, 49]. Широкий диапазон оценок, вероятно, обусловлен рядом факторов, среди которых можно выделить различия в технологиях обнаружения CNV, используемых критериях идентификации CNV, породной принадлежности и количестве исследуемых животных.

J. S. Вае и соавторы [45] представили CNV-карту для крупного рогатого скота. Применение Illumina BovineSNP50 BeadChip позволило идентифицировать 855 CNV, имеющих средний размер $149,8\text{ Kb}$, из которых 368 областей CNV были уникальными.

J. W. Kijas и соавторы [48] провели сравнительную геномную гибридизацию тауринного и зебувидного скота с использованием олигонуклеотидной платформы на основе 385 000 зондов. В результате был обнаружен 51 CNV со средним индивидуальным разме-

ром от 213 до 335 Kb, которые в совокупности покрывали примерно 0,5 % генома крупного рогатого скота. Большая часть CNV (82 %) охватывала не менее одного гена, среди которых были идентифицированы функциональные кандидаты, в том числе ответственные за устойчивость к паразитарным болезням и влияющие на фертильность у молочных пород.

Используя аналогичную платформу с целью выявления CNV в геноме домашней козы, L. Fontanesi и соавторы [50] провели эксперимент по сравнительной межвидовой гибридизации генома крупного рогатого скота и козы (aCGH). Всего был выявлен 161 CNV и идентифицировано 127 CNVR, охватывающих около 11,47 Mb виртуального генома козы, относящегося к геному крупного рогатого скота (0,435 % в соответствии с последней сборкой генома). Выявленные перекрытия между регионами CNV козы и крупного рогатого скота были статистически значимыми ($P < 0,0001$), поэтому можно предположить, что некоторые хромосомные области содержат повторяющиеся межвидовые CNVR.

Получены данные о влиянии CNV на хозяйственно полезные признаки у крупного рогатого скота и других видов животных. Например, CNV гена *GBP4* крупного рогатого скота является частью локуса количественных признаков (QTL), влияющего на рост взрослых животных [51]. Дублирование участка размером 133 Kb, содержащего четыре гена *FGF3*, *FGF4*, *FGF19* и *ORAOV1*, приводит к появлению волосяного покрова у родезианских и тайских собак [52].

Y. Xu и соавторы [35] провели анализ ассоциации вариации числа копий гена *MYH3* с уровнем транскрипции и признаками роста у четырех китайских пород крупного рогатого скота. Ген *MYH3*, критический регуляторный фактор развития скелетных мышц, был обнаружен в области CNV путем сравнительной геномной гибридизации. Было установлено, что увеличенное число копий гена *MYH3* (≥ 3 копий) положительно коррелирует с уровнем транскрипции в скелетных мышцах как в эмбрионах, так и у взрослых животных ($P < 0,05$).

Исследования вариации числа копий у свиней. В 2008 году J. Fadista и соавторы [30] представили первые данные по наличию регионов CNV в геноме свиньи, локализованных на хромосомах 4, 7, 14 и 17. С. Chen и соавторы [53], исследуя 1693 свиней из 18 различных популяций с использованием мик-

рочипа SNP60 BeadChip и программного обеспечения PennCNV [54], идентифицировали 1315 предполагаемых CNV, принадлежащих к 565 регионам CNV (CNVR). Несколько областей CNV были обнаружены на хромосомах 6, 11, 13, 14 и 17. Семь CNV перекрывались с QTL, ассоциированных с длиной туши, толщиной шпика, массой нутряного сала, длиной лопаточной части, содержанием внутримышечного жира в длиннейшей мышце спины, живой массой в возрасте 240 дней и гликолитическим потенциалом длиннейшей мышцы спины. Кроме того, был идентифицирован один CNV, который ранее ассоциировался с цветом кожи у свиней [55].

Исследования вариации числа копий у коз. В 2009 году L. Fontanesi и соавторы [56] провели сравнительную гибридизацию с использованием платформы aCGH на основе сиквэнсов кодирующих последовательностей гена *ASIP* в 6 породах коз с различным окрасом, в том числе у зааненской и мурсиана градина. Были обнаружены CNV, покрывающие область генома размером менее 100 Kb и включающие гены *ASIP* и *AHCY*. Был сделан вывод о том, что разница в количестве копий в локусе *Agouti* у коз вносит определенный вклад в варибельность окраски шерсти. В 2010 году тот же научный коллектив идентифицировал 127 CNVR, охватывающих около 11,47 Mb генома козы, и представил первую карту CNVR в геноме козы [50].

В 2019 году R.Q. Zhang и соавторы [57] на основе данных полногеномного генотипирования провели скрининг CNV в популяции лаошанских молочных коз, представленных группами с высокой и низкой плодовитостью. Выявленная дупликация генов *PRP1* и *PRP6*, ответственных за репродуктивные процессы, в группе коз с высокой плодовитостью позволила предположить, что CNV могут способствовать увеличению размера помета у лаошанских молочных коз.

S. Y. Shi и соавторы [33] обнаружили, что ген *MYLK4* перекрывался с регионом CNV. Было показано, что вариации числа копий гена *MYLK4* существенно влияют на живую массу, длину туловища и высоту в холке у коз.

Первой системной попыткой провести анализ распределения CNV в популяциях коз, разводимых в различных странах мира, стало исследование M. Liu и соавторов, проведенное в 2019 году [25]. Анализ полногеномных SNP-профилей, сгенерированных в рамках проекта

ADAPTmap, выявил 6286 CNV у 1023 коз и 978 CNVR, покрывающих 262 Mb, или 8,96 % генома коз. Кроме того, было идентифицировано 154 функциональных гена, перекрывающихся в CNVR, в том числе *EDNRA*, *NR3C2*, *ADAMTS20*, *ASIP*, *AHCY*, *ITCH*, *KDM5B*, *ADAM8* и *SHH*. Уровень амплификации гена *EDNRA* положительно коррелирует со степенью покрытия белыми пятнами в масти у коз. Ген *NR3C2* кодирует минералокортикоидный рецептор, участвующий в регуляции артериального давления. Сообщалось, что дополнительные копии гена *NR3C2* могут быть связаны со специфическими признаками, определяющими адаптации к суровым и засушливым климатическим условиям [50]. Ген *ADAMTS20* сыграл значительную роль в вариации цвета шерсти в процессе одомашнивания коз. Гены *ASIP*, *AHCY* и *ITCH* ответственны за изменение окраса шерсти у коз, что подтверждается проведенными ранее исследованиями L. Fontanesi с соавторами [56]. За мясную продуктивность отвечают гены *KDM5B*, *ADAM8* и *SHH*. Полученные результаты показали, что идентифицированные CNV могут рассматриваться как потенциальные кандидаты для улучшения экономически-значимых признаков, в том числе мясной и молочной продуктивности у коз.

Исследования вариации числа копий у овец. В последние годы был достигнут определенный прогресс в идентификации вариации числа копий у овец. В 2011 году L. Fontanesi и соавторы [58] представили первую карту CNV генома овцы, полученную с использованием метода межвидовой сравнительной гибридизации с геномом крупного рогатого скота. Однако данный подход не был оптимальным из-за низкой гомологии между зондами крупного рогатого скота и ДНК овец для некоторых регионов и не отражал реального распределения CNV регионов в геноме овцы.

В 2013 году с использованием ДНК-чипа Ovine SNP50 впервые была построена карта CNV овец [59]. В трех породах овец идентифицировали 238 регионов CNV, покрывающих 60,35 Mb генома, что соответствовало 2,27 % аутомсомной геномной последовательности и 2,17 % полного генома овец. Полученные данные отличались от результатов, полученных ранее L. Fontanesi и соавторами [58].

J. Liu и соавторы [59] попытались идентифицировать гены, расположенные внутри

или частично перекрывающиеся с регионами CNV. Геном овцы не так хорошо изучен по сравнению с геномом других сельскохозяйственных животных [60, 61, 62], поэтому только 4 региона CNV частично совпали с пятью известными генами. Тем не менее, было выявлено 563 ортологичных гена человека в CNVR овец. Также были определены области CNV, которые могут перекрываться с генами, влияющими на устойчивость к заболеваниям и собранными в базе данных OMIM (Online Mendelian Inheritance in Man).

В связи с тем, что CNV трудно идентифицируемы независимо от используемых платформ наилучшим подходом, по-видимому, будет являться консервативное использование нескольких методов для выявления вариации числа копий. Учитывая отсутствие комплексного исследования CNV у овец, в 2016 году G. M. Jenkins и соавторы [27] с помощью специально разработанной платформы Roche-NimbleGen 2.1 M CGH и целого ряда биоинформационных методов обнаружили 3488 CNV регионов на аутосомах овец со средней длиной 19 Kb. Обнаруженные CNVR были сопоставимы с выявленными в предыдущих работах. G. M. Jenkins с соавторами [27] удалось обнаружить 31 % CNVR, идентифицированных в первом исследовании CNV у овец [58], и 16-62 % CNVR, обнаруженных ранее в геноме крупного рогатого скота [45, 46, 47, 48, 63, 64]. Идентифицированные CNV покрывали 2,7 % генома овец, что примерно в семь раз больше, чем было установлено ранее [58], что, вероятно, связано с большим размером исследуемой выборки животных. Из 3335 аутомсомных регионов CNV 1335 (40 %) перекрывали кодирующую tandemную последовательность, охватывающую гены *ASIP* и *AHCY*, а также и область промотора гена *ITCH*, что подтверждается наличием дупликации, приводящей к появлению белой шерсти у овец масти агути, о котором ранее также сообщали B. J. Norris и V. A. Whan [65]. Результаты исследования, в целом, были сопоставимы с диапазоном оценок для крупного рогатого скота [45, 46, 47, 48, 63, 64].

Недавние исследования показали, что различное число копий генов в геноме оказывают различное влияние на рост и развитие овец. В 2016 г. C. Zhu и соавторы [66] установили, что такие гены, как *PPARA*, *RXRA*, *KLF11*, *ADD1*, *FASN*, *PPP1CA* влияют на процессы отложения жира и формирование

жирного хвоста у овец. Эти области CNV содержат большое количество генов, связанных с метаболизмом жира и активностью ГТфазных ферментов. L. Yang и соавторы [26] установили, что у овец области CNV, которые были связаны с развитием мышечной ткани плода, синтезом простагландина и размерами костей, перекрывались с генами *BTG3*, *PTGS1* и *PSPH* соответственно.

В 2017 году Q. Ma и соавторы [34], применив ДНК-чип высокой плотности *Ovine SNP 600K BeadChip* (Illumina Inc., США), провели генотипирование 48 овец из китайской породы тан и выявили 1296 областей CNV, что составляет 4,7 % генома овец. Результатом исследований стало построение CNV-карты генома китайских местных овец [34].

В ряде недавних исследований была установлена корреляция экономически значимых признаков животных с изменением числа копий. R. Jiang и соавторы [67] обнаружили, что ген *SHE* находится в QTL, связанном с процентным содержанием молочного жира и плотностью костей, и идентифицировали вариацию числа копий гена *SHE* длиной 2000 п.о. Ген *SHE*, расположенный на хромосоме 1, содержит 6 экзонов и кодирует белок с 495 аминокислотами. Ген *SHE* является важным членом доменного семейства SH2, структурно консервативного белкового домена, встречающегося в онкопротеине Src [68] и многих других белках внутриклеточной сигнальной трансдукции [69]. Функция этого домена состоит в том, чтобы распознавать фосфорилированное состояние остатков тирозина и инициировать различные реакции, что в итоге приводит к изменению уровня экспрессии генов или других клеточных реакций. Ассоциативный анализ числа копий гена *SHE* с признаками роста и развития в четырех китайских породах овец показал, что носители нормального и увеличенного числа копий демонстрировали лучшие фенотипы. Полученные результаты позволяют предположить, что CNV гена *SHE* влияют на развитие хозяйственно полезных признаков и могут быть предложены в качестве перспективного кандидата в овцеводстве.

X. Wang и соавторы [70] обнаружили, что ген *ORMDL1* характеризуется вариацией числа копий 2800 п. о. на хромосоме 2 у четырех китайских пород овец, и что этот CNV содержится в области с высокой плотностью QTL различных признаков экономической

важности, в том числе ассоциированных с формированием мышц и жира. Ген *ORMDL1*, член семейства *ORMDL*, является белок-кодирующим геном, который связан с метаболизмом сфинголипидов, а также регулирует биосинтез и гомеостаз церамидов в клетках млекопитающих [71, 72, 73]. Анализ показал, что CNV гена *ORMDL1* коррелирует с показателями роста туловища, обхватом груди и окружностью берцовой кости ($P < 0,05$), а также оказывает значительное влияние на массу тела, высоту в холке, длину туловища, глубину груди и высоту в крестце ($P < 0,05$). На основании полученных данных CNV гена *ORMDL1* можно рекомендовать в качестве перспективного молекулярного маркера для использования в селекционных программах овец.

Z. Feng и соавторы [74] обнаружили, что ген *PIGY*, расположенный на хромосоме 6, содержит область CNV в экзоне 2 длиной 3600 п. о., перекрывающуюся с 28 QTL, связанных с такими признаками, как плотность мышц и масса тела. Исследователи провели скрининг CNV гена *PIGY* у трех китайских пород овец. Ген *PIGY* инициирует биосинтез гликозилфосфатидилинозитол-ацетилглюкозаминилтрансфераз (GPI) [75] и играет важную роль в межклеточном взаимодействии. Проведенный анализ ассоциаций показал значительное влияние CNV гена *PIGY* на живую массу, обхват груди и окружность берцовой кости овец. В связи с тем, что овцы с увеличенным количеством копий характеризовались лучшими показателями роста, чем овцы с другими типами CNV, то можно diskutieren о возможности применения CNV гена *PIGY* в качестве нового молекулярно-генетического маркера у овец.

Z. Yang и соавторы [76] изучали потенциальные ассоциации CNV гена *BAG4* с показателями роста и развития у трех китайских пород овец. Ген *BAG4* локализован в области QTL признаков роста и формирования вымени у овец. CNV гена *BAG4* был статистически связан с ростом туловища ($P < 0,05$), с косой длиной туловища ($P < 0,05$) и высотой в крестце ($P < 0,05$). CNV гена *BAG4* может рассматриваться как перспективный кандидат для внедрения в маркерную селекцию овец.

Информация о наиболее значимых функциональных генах-кандидатах, частично или полностью локализованных в регионах CNV у разных видов сельскохозяйственных животных, обобщена в таблице.

Таблица – Наиболее значимые функциональные гены-кандидаты, частично или полностью локализованные в регионах CNV, у разных видов сельскохозяйственных животных /

Table – The most significant functional candidate genes, partially or fully overlapped in the CNV regions, in different livestock species

Ген / Gene	Xp / Chr	Функции / Function	Источник / Reference
1	2	3	4
<i>Идентифицированные гены в регионах CNV у свиней / Genes overlapped in CNV regions in pigs</i>			
<i>ANP32B</i> (кислотный лейцин - богатый ядерный фосфопротеин 32 член семьи B) / <i>ANP32B</i> (acidic leucine-rich nuclear phosphoprotein 32 family member B)	1	Фактор прогрессирования клеточного цикла и выживания клетки. Требуется для перехода от G1 к S фазе / Factor of cell cycle progression and cell survival. It is required for the transition from G1 to S phase	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>BSCL2</i> (сейпин, связанный с биогенезом липидных капель) / <i>BSCL2</i> (seipin lipid droplet biogenesis associated)	2	Особенно активен в моторных нейронах и в адипоцитах. Участвует в формировании липидных капель, хранящих молекулы жира / High activity in motor neurons and adipocytes. Formation of lipid droplets storing fat molecules	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>LTBP3</i> (скрытый трансформирующий фактор роста бета-связывающий белок 3) / <i>LTBP3</i> (latent transforming growth factor beta binding protein 3)	2	Участвует в субклеточной локализации, играет структурную роль во внеклеточном матриксе / A role in subcellular localization and in the extracellular matrix	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>KIT</i> (KIT протоонкоген рецептор тирозинкиназы) / <i>KIT</i> (KIT proto-oncogene, receptor tyrosine kinase)	5	Контролируют пролиферацию клеток. Развитие и функционирование половых клеток, гемопоэтических стволовых клеток, лейкоцитов и меланоцитов / Cell proliferation control. Involved in development and functioning of germ cells, hematopoietic stem cells, white blood cells and melanocytes	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>GDF3</i> (фактор дифференциации роста 3) / <i>GDF</i> (3growth differentiation factor 3)	5	Регулирует рост и дифференцировки клеток в эмбриональный и постнатальный периоды / Regulates cell growth and cell differentiation in the embryonic and postnatal periods	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>GYS1</i> (гликоген синтаза 1) / <i>GYS1</i> (glycogen synthase 1)	6	Синтез фермента мышечной гликогенсинтазы, необходимой для связывания молекул глюкозы с образованием гликогена / Synthesis of the muscle glycogen synthase required for binding glucose molecules to form glycogen	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>CAVI</i> (кавеолин-1) / <i>CAVI</i> (caveolin-1)	18	Обеспечивает межклеточный и внутриклеточный транспорт молекул. Поддержание структуры клетки. Регуляция пролиферации, дифференцировки и апоптоза клеток / Intercellular and intracellular transport of molecules. Maintaining the cell structure. Regulation of cell proliferation, differentiation, and apoptosis	C. Chen et al. (2012) [53]
<i>Идентифицированные гены в регионах CNV у крупного рогатого скота / Genes overlapped in CNV regions in cattle</i>			
<i>GBP4</i> (связывающий гуанила белок 4) / <i>GBP4</i> (guanylate-binding protein 4)	3	Влияет на рост взрослого животного / Affects the growth of an adult animal	X. K.Cao et al. (2018) [51]
<i>MYH3</i> (ген тяжелой цепи 3 миозина) / <i>MYH3</i> (myosin heavy chain 3)	19	Регуляция экспрессии генов, участвующих в формировании скелетных мышц и сердца / Regulation of expression of genes involved in the formation of skeletal muscles and heart	Y. Xu et al. (2014) [35]

1	2	3	4
Идентифицированные гены в регионах CNV у овец/ Genes overlapped in CNV regions in sheep			
<i>BTG3</i> (BTG антипролиферативный фактор 3) / <i>BTG3</i> (BTG anti-proliferation factor 3)	1	Развитие мышечной ткани плода. Потенциально влияет на процесс нейрогенеза в центральной нервной системе / The development of the fetal muscular tissue. Potentially affects the neurogenesis in the central nervous system	L. Yang et al. (2018) [26]
<i>SHE</i> (Src гомологическая домен - содержащая E фосфатаза 2) / <i>SHE</i> (Src homology 2 domain containing E)	1	Ген коррелирует с QTL ассоциированным с процентным содержанием жира в молоке и плотностью костей / The gene correlates with QTL associated with milk fat percentage and bone density	R. Jiang et al. (2019) [67]
<i>ORMDL1</i> (ORMDL регулятор биосинтеза сфинголипидов 1) / <i>ORMDL1</i> (ORMDL sphingolipid biosynthesis regulator 1)	2	Регулирование метаболизма и гомеостаза церамида / Regulation of ceramide metabolism and homeostasis	X. Wang et al. (2019) [70]
<i>PTGS1</i> (простагландин-эндопероксид-синтаза 1) / <i>PTGS1</i> (prostaglandin-endoperoxide synthase 1)	3	Катализирует превращение арахидоната в простагландин, влияющего на плодовитость. Регуляция ангиогенеза в эндотелиальных клетках / Catalyzes the conversion of arachidonic acid to prostaglandin, which affects fertility. Regulation of angiogenesis in endothelial cells	L. Yang et al. (2018) [26]
<i>PPARA</i> (альфа-рецептор, активируемый пероксисомным пролифератором) / <i>PPARA</i> (peroxisome proliferator activated receptor alpha)	3	Связывает ненасыщенные жирные кислоты в печени, почках, скелетных мышцах, сердце для активации генов-регуляторов метаболизма жирных кислот / Binds unsaturated fatty acids in the liver, kidneys, skeletal muscles, and heart to activate of genes regulating fatty acid metabolism	C. Zhu et al. (2016) [66]
<i>RXRA</i> (альфа-рецептор ретиноида X) / <i>RXRA</i> (retinoid X receptor alpha)	3	Играет роль в процессах поддержания липидного гомеостаза и развитии плода / Involved in lipid homeostasis maintaining and fetal development	C. Zhu et al. (2016) [66]
<i>KLF11</i> (Крупнель-подобный фактор 11) / <i>KLF11</i> (Kruppel like factor 11)	3	Регулирует транскрипцию бурого жира в адипоцитах / Regulates the transcription of brown fat in adipocytes	C. Zhu et al. (2016) [66]
<i>ADD1</i> (аддуцин 1) / <i>ADD1</i> (adducin 1)	6	Важная роль в процессах дифференцировки жировых клеток и поддержании гомеостаза холестерина / An important role in fat cell differentiation and in maintaining of cholesterol homeostasis	C. Zhu et al. (2016) [66]
<i>PIGY</i> (фосфатидилинозитол гликан-анкорный биосинтез класса Y) / <i>PIGY</i> (phosphatidylinositol glycan anchor biosynthesis class Y)	6	Иницирует биосинтез GPI и играет важную роль в межклеточном взаимодействии / Initiates GPI biosynthesis and plays an important role in intercellular interaction	Z. Feng et al. (2020) [74]
<i>FASN</i> (синтаза жирных кислот) / <i>FASN</i> (fatty acid synthase)	11	Ключевая роль в процессах биосинтеза и анаболизма жирных кислот. Регулирует депонирование жира / A key role in fatty acid biosynthesis and anabolism. Regulates fat deposition	C. Zhu et al. (2016) [66]
<i>ASIP</i> (сигнальный белок агути) / <i>ASIP</i> (agouti signaling protein), <i>AHCY</i> (аденозилгомоцистеиназа) / <i>AHCY</i> (adenosylhomocysteinase), <i>ITCH</i> (E3 убиквитинная протеиновая лигаза) / <i>ITCH</i> (itchy E3 ubiquitin protein ligase)	13	Антагонисты альфа-меланоцит-стимулирующего гормона. Участвуют в нейроэндокринной системе действия меланокортина. Регуляция липидного обмена в адипоцитах / Antagonists of alpha-melanocyte-stimulating hormone. Involved in the neuroendocrine system in regards with melanocortin. Regulation of lipid metabolism in adipocytes	B. J. Norris и V. A. Whan (2008) [65] *
<i>PPP1CA</i> (протеинфосфатаза 1 каталитическая субъединица альфа) / <i>PPP1CA</i> (protein phosphatase 1 catalytic subunit alpha)	21	Дефосфорилирование и инактивация гликогенсинтазы в скелетных мышцах / Dephosphorylation and inactivation of glycogen synthase in skeletal muscles	C. Zhu et al. (2016) [66]

1	2	3	4
<i>PSPH</i> (фосфосеринфосфатаза) / <i>PSPH</i> (phosphoserine phosphatase)	24	Отвечает за последний этап биосинтеза L-серина. Потенциально влияет на цвет костной ткани / Responsible for the last stage of L-serine biosynthesis. Potentially affects a color of bones	L. Yang et al. (2018) [26]
<i>BAG4</i> (Bcl-2-ассоциированный с атаногеном 4) / <i>BAG4</i> (BAG co-chaperone)	26	Активация различных клеточных процессов, в том числе реакции на стресс, пролиферации, миграции и апоптоза. Расположен внутри QTL, ассоциированного с признаками развития туловища и вымени / Involved in the activation of various cellular processes, including responses to stress, proliferation, migration, and apoptosis. Located within the QTL associated with traits for body stature and udder development	Z. Yang et al. (2020) [76]

*Идентифицированные гены, перекрывающиеся в CNV у коз /
Genes overlapped in CNV regions in goats*

<i>SHH</i> (молекула сигнального пути Sonic Hedgehog) / <i>SHH</i> (sonic hedgehog signaling molecule)	4	Ингибирует образование жира и ускоряет миогенную и остеогенную дифференцировку. Запускает химический сигнал, необходимый для развития эмбриона. Важен для развития головного и спинного мозга / Inhibits fat formation and accelerates myogenic and osteogenic differentiation. Triggers a chemical signal required for embryo development. Crucial for brain and spinal cord development	M. Liu et al. (2019) [25]
<i>KDM5B</i> (лизиндеметидаза 5B) / <i>KDM5B</i> (lysine demethylase 5B)	16	Деметирует «Lys-4» гистона H3 / Demethylation «Lys-4» of histone H3	M. Liu et al. (2019) [25]
<i>EDNRA</i> (рецептор эндотелина тип A) / <i>EDNRA</i> (endothelin receptor type A)	17	Опосредует действие эндотелина-1 путем ассоциации с G-белками, активирующими кальциевую систему второго мессенджера. Играет роль в развитии мышц плода / Mediates endothelin-1 by association with G-proteins that activate the calcium system of the second messenger. Involved in fetal muscle development	M. Liu et al. (2019) [25]
<i>NR3C2</i> (член группы C2 подсемейства ядерных рецепторов 3) / <i>NR3C2</i> (nuclear receptor subfamily 3 group C member 2)	17	Регуляция количества натрия и кровяного давления. Потенциально ассоциирован с развитием адаптаций к засушливому климату / Regulates sodium level blood pressure. Potentially associated with adaptation traits to arid climate	M. Liu et al. (2019) [25]
<i>PRP1</i> (связанный с пролактином белок 1) / <i>PRP1</i> (prolactin-related protein-1) и <i>PRP6</i> (связанный с пролактином белок 6) / <i>PRP6</i> (prolactin-related protein-6)	18	Кодируемый белок связывает андрогенный рецептор, обеспечивая связь между активацией транскрипции и сплайсингом. Играют важную регуляторную роль в процессах воспроизводства и беременности / Encoded protein binds an androgen receptor, providing a link between transcription activation and splicing. An important regulatory role in reproduction and pregnancy	R. Q. Zhang et al. (2019) [57]
<i>MYLK4</i> (член семейства киназ легкой цепи миозина 4) / <i>MYLK4</i> (myosin light chain kinase family member 4)	23	Влияет на сокращение мышц. Распространен в гладких мышцах, сердечной мышце, скелетных мышцах / An important role in muscle contraction. Found in smooth muscle, heart muscle, and skeletal muscle	S. Y. Shi et al. (2019) [33]

* L. Fontanesi и соавторы (2009) [56] выявили ту же группу генов, перекрывающихся в CNV у коз /

* L. Fontanesi et al (2009) [56] identified the same group of genes, which have been overlapped in the CNV in goats

Выводы. Таким образом, суммируя результаты проведенного анализа мирового опыта в области поиска регионов вариации числа копий и методов их идентификации, можно сделать несколько выводов.

1. Прежде всего, следует отметить, что локусы значительного количества функциональных генов-кандидатов, отвечающих за разнообразные экономически значимые признаки, полностью или частично перекрываются

ся с регионами CNV. В частности, каждый вид сельскохозяйственных животных, рассматриваемый в настоящем обзоре, характеризовался наличием генов, перекрывающихся с регионами CNV и локализованных внутри или рядом с QTL показателей роста или мясной продуктивности. В связи с этим, полученные результаты так же, как и большее покрытие генома по сравнению с SNP-маркерами, свидетельствует об огромном потенциале CNV выявленных генов в качестве ДНК-маркеров для использования в мясном животноводстве.

2. Несмотря на то, что разработан широкий спектр лабораторных методов для выявления CNV они требуют дальнейшего совершенствования. Чувствительность обнаружения CNV сильно зависит от выбранной технологии.

Вероятно, наиболее адекватным и информативным является комплексный подход, основанный на использовании ДНК-чипов высокой плотности (или NGS данных) с последующим подтверждением присутствия обнаруженных CNV с помощью количественной ПЦР.

3. Идентификация CNV была проведена только у китайских пород овец, поэтому полученные результаты будет методически неверно экстраполировать на российские породы овец. В связи с этим, на основе полученных ранее данных полногеномного SNP генотипирования [77, 78] были начаты исследования распространения CNV в геномах отечественных пород овец с целью внедрения полученной информации в маркерную селекцию для улучшения экономически значимых показателей овец.

References

1. Feuk L., Carson A. R., Scherer S. W. Structural variation in the human genome. *Nat Rev Genet.* 2006;7(2):85-97. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrg1767>
2. Cloup A., Vidal O., Amills M. Copy number variation in the genomes of domestic animals. *Anim Genet.* 2012;43(5):503-517. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02317.x>
3. Egan C. M., Sridhar S., Wigler M., Hall I. M. Recurrent DNA copy number variation in the laboratory mouse. *Nat Genet.* 2007;39(11):1384-1389. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.2007.19>
4. 1000 Genomes Project Consortium, Abecasis G. R., Altshuler D., Auton A., Brooks L. D., Durbin R. M., et al. A map of human genome variation from population-scale sequencing. *Nature.* 2010;467:1061-1073. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature09534>
5. Michaelson J. J., Shi Y., Gujral M., Zheng H., Malhotra D., Jin X., et al. Whole-genome sequencing in autism identifies hot spots for de novo germline mutation. *Cell.* 2012;151(7):1431-1442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.11.019>
6. Gu W., Zhang F., Lupski J. R. Mechanisms for human genomic rearrangements. *Pathogenetics.* 2008;1(1):4. DOI: <https://doi.org/10.1186/1755-8417-1-4>
7. Conrad D. F., Pinto D., Redon R., Feuk L., Gokcumen O., Zhang Y., et al. Origins and functional impact of copy number variation in the human genome. *Nature.* 2010;464(7289):704-712. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature08516>
8. Pang A. W., MacDonald J. R., Pinto D., Wei J., Rafiq M. A., Conrad D. F., et al. Towards a comprehensive structural variation map of an individual human genome. *Genome Biol.* 2010;11(5):R52. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2010-11-5-r52>
9. Iafrate A. J., Feuk L., Rivera M. N., Listewnik M. L., Donahoe P. K., Ying Y., et al. Detection of large-scale variation in the human genome. *Nat Genet.* 2004;36(9):949-951. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng1416>
10. Kim P. M., Lam H. Y., Urban A. E., Korbel J. O., Affourtit J., Grubert F., et al. Analysis of copy number variants and segmental duplications in the human genome: Evidence for a change in the process of formation in recent evolutionary history. *Genome Res.* 2008;18(12):1865-1874. DOI: <https://doi.org/10.1101/gr.081422.108>
11. Berglund J., Nevalainen E. M., Molin A. M., Perloski M., The LUPA Consortium, André C., et al. Novel origins of copy number variation in the dog genome. *Genome Biology.* 2012;13(8):R73. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2012-13-8-r73>
12. Zhang F., Gu W., Hurles M. E., Lupski J. R. Copy number variation in human health, disease, and evolution. *Annu Rev Genomics Hum Genet.* 2009;10:451-481. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.genom.9.081307.164217>
13. Conrad D. F., Andrews T. D., Carter N. P., Hurles M. E., Pritchard J. K. A high-resolution survey of deletion polymorphism in the human genome. *Nat Genet.* 2006;38(1):75-81. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng1697>
14. Emerson J. J., Cardoso-Moreira M., Borevitz J. O., Long M. Natural selection shapes genome-wide patterns of copy-number polymorphism in *Drosophila melanogaster*. *Science.* 2008;320(5883):1629-1631. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1158078>
15. Cooper G. M., Nickerson D. A., Eichler E. E. Mutational and selective effects on copy-number variants in the human genome. *Nat Genet.* 2007;39(7 Suppl):S22-S29. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng2054>
16. Zhang L., Jia S., Yang M., Xu Y., Li C., Sun J., et al. Detection of copy number variations and their effects in Chinese bulls. *BMC Genomics.* 2014;15(1):480. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-480>
17. Stankiewicz P., Lupski J. R. Structural variation in the human genome and its role in disease. *Annu Rev Med.* 2010;61:437-455. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-med-100708-204735>
18. McCarroll S. A., Kuruvilla F. G., Korn J. M., Cawley S., Nemesh J., Wysoker A., et al. Integrated detection and population-genetic analysis of SNPs and copy number variation. *Nat Genet.* 2008;40(10):1166-1174. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.238>

19. Wain L. V., Armour J. A., Tobin M. D. Genomic copy number variation, human health, and disease. *Lancet*. 2009;374(9686):340-350. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60249-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60249-X)
20. Schoumans J., Ruivenkamp C., Holmberg E., Kyllerman M., Anderlid B. M., Nordenskjöld M. Detection of chromosomal imbalances in children with idiopathic mental retardation by array based comparative genomic hybridisation (array-CGH). *J Med Genet*. 2005;42(9):699-705. DOI: <https://doi.org/10.1136/jmg.2004.029637>
21. He Y., Hoskins J. M., McLeod H. L. Copy number variants in pharmacogenetic genes. *Trends Mol Med*. 2011;17(5):244-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2011.01.007>
22. Li X., Tan L., Liu X., Lei S., Yan T., Chen X., et al. A genome wide association study between copy number variation (CNV) and human height in Chinese population. *J Genet Genomics*. 2010;37(12):779-785. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1673-8527\(09\)60095-3](https://doi.org/10.1016/S1673-8527(09)60095-3)
23. Ma Y. L., Wen Y. F., Cao X. K., Cheng J., Huang Y. Z., Ma Y., et al. Copy number variation (CNV) in the IGF1R gene across four cattle breeds and its association with economic traits. *Arch Anim Breed*. 2019;62(1):171-179. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-62-171-2019>
24. Da Silva J. M., Giachetto P. F., da Silva L. O., Cintra L. C., Paiva S. R., Yamagishi M. E., et al. Genome-wide copy number variation (CNV) detection in Nelore cattle reveals highly frequent variants in genome regions harboring QTLs affecting production traits. *BMC Genomics*. 2016;17:454. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2752-9>
25. Liu M., Zhou Y., Rosen B. D., Van Tassell C. P., Stella A., Tosser-Klopp G., et al. Diversity of copy number variation in the worldwide goat population. *Heredity (Edinb)*. 2019;122(5):636-646. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-018-0150-6>
26. Yang L., Xu L., Zhou Y., Liu M., Wang L., Kijas J. W., Zhang H., Li L., Liu G. E. Diversity of copy number variation in a worldwide population of sheep. *Genomics*. 2018;110(3):143-148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2017.09.005>
27. Jenkins G. M., Goddard M. E., Black M. A., Brauning R., Auvray B., Dodds K. G., Kijas J. W., Cockett N., McEwan J. C. Copy number variants in the sheep genome detected using multiple approaches. *BMC Genomics*. 2016;17:441. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2754-7>
28. Alvarez C. E., Akey J. M. Copy number variation in the domestic dog. *Mamm Genome*. 2012;23(1-2):144-163. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00335-011-9369-8>
29. Fontanesi L., Martelli P. L., Scotti E., Russo V., Rogel-Gaillard C., Casadio R., Vernesi C. Exploring copy number variation in the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) genome by array comparative genome hybridization. *Genomics*. 2012;100(4):245-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2012.07.001>
30. Fadista J., Nygaard M., Holm L. E., Thomsen B., Bendixen C. A snapshot of CNVs in the pig genome. *PLoS One*. 2008;3(12):e3916. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003916>
31. Ramayo-Caldas Y., Castelló A., Pena R. N., Alves E., Mercadé A., Souza C. A., Fernández A. I., Perez-Enciso M., Folch J. M. Copy number variation in the porcine genome inferred from a 60 k SNP BeadChip. *BMC Genomics*. 2010;11:593. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-593>
32. Fowler K. E., Pong-Wong R., Bauer J., Clemente E. J., Reitter C. P., Affara N. A., Waite S., Walling G. A., Griffin D. K. Genome wide analysis reveals single nucleotide polymorphisms associated with fatness and putative novel copy number variants in three pig breeds. *BMC Genomics*. 2013;14:784. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-784>
33. Shi S. Y., Li L. J., Zhang Z. J., Wang E.-Y., Wang J., Xu J.-W., Liu H.-B., Wen Y.-F., He H., Lei C.-Z., Chen H., Huang Y.-Z. Copy number variation of MYLK4 gene and its growth traits of *Capra hircus* (goat). *Anim Biotechnol*. 2019;1-6. DOI: <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1635137>
34. Ma Q., Liu X., Pan J., Ma L., Ma Y., He X., Zhao Q., Pu Y., Li Y., Jiang L. Genome-wide detection of copy number variation in Chinese indigenous sheep using an ovine high-density 600 K SNP array. *Sci Rep*. 2017;7(1):912. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00847-9>
35. Xu Y., Shi T., Cai H., Zhou Y., Lan X., Zhang C., Lei C., Qi X., Chen H. Associations of MYH3 gene copy number variations with transcriptional expression and growth traits in Chinese cattle. *Gene*. 2014;535(2):106-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.11.057>
36. D'haene B., Vandesompele J., Hellemans J. Accurate and objective copy number profiling using real-time quantitative PCR. *Methods*. 2010;50(4):262-270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2009.12.007>
37. Gryadunov D., Dementieva E., Mikhailovich V., Nasedkina T., Rubina A., Savvateeva E., Fesenko E., Chudinov A., Zimenkov D., Kolchinsky A., Zasedatelev A. Gel-based microarrays in clinical diagnostics in Russia. *Expert Rev Mol Diagn*. 2011;11(8):839-853. DOI: <https://doi.org/10.1586/erm.11.73>
38. Marasso S. L., Mombello D., Cocuzza M., Casalena D., Ferrante I., Nesca A., Poiklik P., Rekker K., Aaspolu A., Ferrero S., Pirri C. F. A polymer lab-on-a-chip for genetic analysis using the arrayed primer extension on microarray chips. *Biomed Microdevices*. 2014;16(5):661-670. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10544-014-9869-x>
39. Peiffer D. A., Le J. M., Steemers F. J., Chang W., Jenniges T., Garcia F. et al. High-resolution genomic profiling of chromosomal aberrations using Infinium whole-genome genotyping. *Genome Res*. 2006;16(9):1136-1148. DOI: <https://doi.org/10.1101/gr.5402306>
40. Schouten J. P., McElgunn C. J., Waaijer R., Zwijnenburg D., Diepvens F., Pals G. Relative quantification of 40 nucleic acid sequences by multiplex ligation-dependent probe amplification. *Nucleic Acids Res*. 2002;30(12):e57. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gnf056>
41. Carter N. P. Methods and strategies for analyzing copy number variation using DNA microarrays. *Nat Genet*. 2007;39(7 Suppl):S16-S21. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng2028>
42. Rincon G., Weber K. L., Eenennaam A. L., Golden B. L., Medrano J. F. Hot topic: performance of bovine high-density genotyping platforms in Holsteins and Jerseys. *J Dairy Sci*. 2011;94(12):6116-6121. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4764>

43. Ong F. S., Lin J. C., Das K., Grosu D. S., Fan J. B. Translational utility of next-generation sequencing. *Genomics*. 2013;102(3):137-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2013.04.012>
44. Robasky K., Lewis N. E., Church G. M. The role of replicates for error mitigation in next-generation sequencing. *Nat Rev Genet*. 2014;15(1):56-62. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrg3655>
45. Bae J. S., Cheong H. S., Kim L. H., NamGung S., Park T. J., Chun J.-Y., Kim J. Y., Pasaje C. F. A., Lee J. S., Shin H. D. Identification of copy number variations and common deletion polymorphisms in cattle. *BMC Genomics*. 2010;11:232. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-232>
46. Bickhart D. M., Hou Y., Schroeder S. G., Alkan C., Cardone M. F., Matukumalli L. K., et al. Copy number variation of individual cattle genomes using next-generation sequencing. *Genome Res*. 2012;22(4):778-790. DOI: <https://doi.org/10.1101/gr.133967.111>
47. Hou Y., Liu G. E., Bickhart D. M., Cardone M. F., Wang K., Kim E., Matukumalli L. K., Ventura M., Song J., VanRaden P. M., Sonstegard T. S., Van Tassell C. P. Genomic characteristics of cattle copy number variations. *BMC Genomics*. 2011;12:127. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-127>
48. Kijas J. W., Barendse W., Barris W., Harrison B., McCulloch R., McWilliam S., Whan V. Analysis of copy number variants in the cattle genome. *Gene*. 2011;482(1-2):73-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2011.04.011>
49. Cicconardi F., Chillemi G., Tramontano A., Marchitelli C., Valentini A., Ajmone-Marsan P., Nardone A. Massive screening of copy number population-scale variation in *Bos taurus* genome. *BMC Genomics*. 2013;14:124. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-124>
50. Fontanesi L., Martelli P. L., Beretti F., Riggio V., Dall'Olio S., Colombo M., Casadio R., Russo V., Portolano B. An initial comparative map of copy number variations in the goat (*Capra hircus*) genome. *BMC Genomics*. 2010;11:639. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-639>
51. Cao X. K., Huang Y. Z., Ma Y. L., Cheng J., Qu Z. X., Ma Y., Bai Y. Y., Tian F., Lin F. P., Ma Y. L., Chen H. Integrating CNVs into meta-QTL identified GBP4 as positional candidate for adult cattle stature. *Funct Integr Genomics*. 2018;18(5):559-567. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10142-018-0613-0>
52. Salmon Hillbertz N. H., Isaksson M., Karlsson E. K., Hellmén E., Pielberg G. R., Savolainen P., et al. Duplication of FGF3, FGF4, FGF19 and ORAOV1 causes hair ridge and predisposition to dermoid sinus in Ridgeback dogs. *Nat Genet*. 2007;39(11):1318-1320. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.2007.4>
53. Chen C., Qiao R., Wei R., Yuanmei G., Ai H., Ma J., Ren J., Huang L. A comprehensive survey of copy number variation in 18 diverse pig populations and identification of candidate copy number variable genes associated with complex traits. *BMC Genomics*. 2012;13:733. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-733>
54. Wang K., Li M., Hadley D., Liu R., Glessner J., Grant S. F. A., Hakonarson H., Bucan M. PennCNV: an integrated hidden Markov model designed for high-resolution copy number variation detection in whole-genome SNP genotyping data. *Genome Res*. 2007;17(11):1665-1674. DOI: <https://doi.org/10.1101/gr.6861907>
55. Johansson Moller M., Chaudhary R., Hellmén E., Höyheim B., Chowdhary B., Andersson L. Pigs with the dominant white coat color phenotype carry a duplication of the KIT gene encoding the mast/stem cell growth factor receptor. *Mamm Genome*. 1996;7(11):822-830. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003359900244>
56. Fontanesi L., Beretti F., Riggio V., Gómez González E., Dall'Olio S., Davoli R., Russo V., Portolano B. Copy number variation and missense mutations of the agouti signaling protein (ASIP) gene in goat breeds with different coat colors. *Cytogenet Genome Res*. 2009;126(4):333-347. DOI: <http://dx.doi.org/10.1159/000268089>
57. Zhang R. Q., Wang J. J., Zhang T., Zhai H. L., Shen W. Copy-number variation in goat genome sequence: A comparative analysis of the different litter size trait groups. *Gene*. 2019;696:40-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.02.027>
58. Fontanesi L., Beretti F., Martelli P. L., Colombo M., Dall'Olio S., Occidente M., Portolano B., Casadio R., Matassino D., Russo V. A first comparative map of copy number variations in the sheep genome. *Genomics*. 2011;97(3):158-165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2010.11.005>
59. Liu J., Zhang L., Xu L., Ren H., Lu J., Zhang X., Zhang S., Zhou X., Wei C., Zhao F., Du L. Analysis of copy number variations in the sheep genome using 50K SNP BeadChip array. *BMC Genomics*. 2013;14:229. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-229>
60. International Chicken Genome Sequencing Consortium. Sequence and comparative analysis of the chicken genome provide unique perspectives on vertebrate evolution. *Nature*. 2004;432(7018):695-716. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature03154>
61. Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium, Elsik C. G., Tellam R. L., Worley K. C. The genome sequence of taurine cattle: a window to ruminant biology and evolution. *Science*. 2009;324(5926):522-528. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1169588>
62. Humphray S. J., Scott C. E., Clark R., Marron B., Bender C., Camm N., et al. A high utility integrated map of the pig genome. *Genome Biol*. 2007;8(7):R139. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2007-8-7-r139>
63. Fadista J., Thomsen B., Holm L. E., Bendixen C. Copy number variation in the bovine genome. *BMC Genomics*. 2010;11:284. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-284>
64. Jiang L., Jiang J., Yang J., Liu X., Wang J., Wang H., Ding X., Liu J., Zhang Q. Genome-wide detection of copy number variations using high-density SNP genotyping platforms in Holsteins. *BMC Genomics*. 2013;14:131. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-131>
65. Norris B. J., Whan V. A. A gene duplication affecting expression of the ovine ASIP gene is responsible for white and black sheep. *Genome Res*. 2008;18(8):1282-1293. DOI: <https://doi.org/10.1101/gr.072090.107>
66. Zhu C., Fan H., Yuan Z., Hu S., Ma X., Xuan J., Wang H., Zhang L., Wei C., Zhang Q., Zhao F., Du L. Genome-wide detection of CNVs in Chinese indigenous sheep with different types of tails using ovine high-density 600K SNP arrays. *Sci Rep*. 2016;6:27822. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep27822>

67. Jiang R., Cheng J., Cao X. K., Ma Y. L., Chaogetu B., Huang Y. Z., Lan X. Y., Lei C. Z., Hu L. Y., Chen H. Copy Number Variation of the SHE Gene in Sheep and Its Association with Economic Traits. *Animals (Basel)*. 2019;9(8):531. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9080531>
68. Russell R. B., Breed J., Barton G. J. Conservation analysis and structure prediction of the SH2 family of phosphotyrosine binding domains. *FEBS Lett.* 1992;304(1):15-20. DOI: [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(92\)80579-6](https://doi.org/10.1016/0014-5793(92)80579-6)
69. Hosoe Y., Numoto N., Inaba S., Ogawa S., Morii H., Abe R., Ito N., Oda M. Structural and functional properties of Grb2 SH2 dimer in CD28 binding. *Biophysics and Physicobiology*. 2019;16:80-88. DOI: https://doi.org/10.2142/biophysico.16.0_80
70. Wang X., Cao X., Wen Y., Ma Y., Elnour I. E., Huang Y., Lan X., Chaogetu B., Hu L., Chen H. Associations of ORMDL1 gene copy number variations with growth traits in four Chinese sheep breeds. *Arch Anim Breed*. 2019;62(2):571-578. DOI: <https://doi.org/10.5194/aab-62-571-2019>
71. Siow D. L., Wattenberg B. W. Mammalian ORMDL proteins mediate the feedback response in ceramide biosynthesis. *J Biol Chem*. 2012;287(48):40198-40204. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.C112.404012>
72. Cai L., Oyeniran C., Biswas D. D., Allegood J., Milstien S., Kordula T., Maceyka M., Spiegel S. ORMDL proteins regulate ceramide levels during sterile inflammation. *J Lipid Res*. 2016;57(8):1412-1422. DOI: <https://doi.org/10.1194/jlr.M065920>
73. Hjelmqvist L., Tuson M., Marfany G., Herrero E., Balcells S., González-Duarte R. ORMDL proteins are a conserved new family of endoplasmic reticulum membrane proteins. *Genome Biol*. 2002;3(6):research0027. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2002-3-6-research0027>
74. Feng Z., Li X., Cheng J., Huang R., Wang D., Huang Y., Pi L., Hu L., Chen H. Copy Number Variation of the PIGY Gene in Sheep and Its Association Analysis with Growth Traits. *Animals (Basel)*. 2020;10(4):688. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10040688>
75. Ilkovski B., Pagnamenta A. T., O'Grady G. L., Kinoshita T., Howard M. F., Lek M. Mutations in PIGY: expanding the phenotype of inherited glycosylphosphatidylinositol deficiencies. *Hum Mol Genet*. 2015;24(21):6146-6159. DOI: <https://doi.org/10.1093/hmg/ddv331>
76. Yang Z., Cao X., Ma Y., Cheng J., Song C., Jiang R., Wang X., Huang Y., Buren C., Lan X., Ibrahim E. E., Hu L., Chen H. Novel copy number variation of the BAG4 gene is associated with growth traits in three Chinese sheep populations. *Anim Biotechnol*. 2020;1-9. DOI: <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1719124>
77. Deniskova T. E., Dotsev A. V., Selionova M. I., Kunz E., Medugorac I., Reyer H., Wimmers K., Barbato M., Traspov A. A., Brem G., Zinovieva N. A. Population structure and genetic diversity of 25 Russian sheep breeds based on whole-genome genotyping. *Genet Sel Evol*. 2018;50(1):29. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0399-5>
78. Yurchenko A. A., Deniskova T. E., Yudin N. S., Dotsev A. V., Khamiruev T. N., Selionova M. I., Egorov S. V., Reyer H., Wimmers K., Brem G., Zinovieva N. A., Larkin D. M. High-density genotyping reveals signatures of selection related to acclimation and economically important traits in 15 local sheep breeds from Russia. *BMC Genomics*. 2019;20(Suppl 3):294. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5537-0>

Сведения об авторах

Кошкина Ольга Андреевна, аспирант, младший научный сотрудник группы генетики и геномики мелкого рогатого скота, ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, Городской округ Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>, e-mail: olechka1808@list.ru

✉ **Денискова Татьяна Евгеньевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник группы генетики и геномики мелкого рогатого скота, ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, Городской округ Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, e-mail: horarka@yandex.ru

Зинovieva Наталия Анатольевна, доктор биол. наук, профессор, академик Российской академии наук, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», п. Дубровицы, д. 60, Городской округ Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4017-6863>, e-mail: n_zinovieva@mail.ru

Information about the authors

Olga A. Koshkina, graduate student, junior researcher of the Group for Genetics and Genomics of Small Ruminants of L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4830-6626>, e-mail: olechka1808@list.ru

✉ **Tatiana E. Deniskova**, PhD in Biology, senior researcher of the Group for Genetics and Genomics of Small Ruminants of L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, e-mail: horarka@yandex.ru

Natalia A. Zinovieva, DSc in Biology, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4017-6863>, e-mail: n_zinovieva@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.369-378>

УДК 633.16 : 581.1



Эффекты избытка марганца(II) на рост и антиоксидантный статус проростков ячменя

© 2020. О. А. Симонова¹ ✉, М. В. Симонов², Е. В. Товстик²

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация

Марганец относится к группе тяжелых металлов, которые в высоких концентрациях могут оказывать негативное влияние на развитие растений. Типичными почвами Кировской области являются кислые подзолистые и дерново-подзолистые почвы, для которых характерно высокое содержание доступных для растений соединений марганца. Исследовали влияние ионов марганца(II) в концентрациях 30,0; 60,0 и 90,0 мг/л на рост и антиоксидантную активность (АОА) фермента супероксиддисмутазы (СОД) в органах 7- и 14-суточных растений ячменя, выращиваемых в водной культуре. Объектами исследования служили устойчивые к кислым почвам (Al^{3+} , H^+) сорта и формы ячменя 346-09, 29-11, Фермер 198-12, Форвард и Бионик, в качестве стандарта использовали сорт Белгородский 100. При добавлении марганца в среду выращивания растений отмечали уменьшение длины корней и увеличение в них АОА СОД. Заключили, что повышенные концентрации марганца оказывают влияние на морфометрические параметры и АОА СОД проростков ячменя. Установлено, что увеличение дозы марганца в среде выращивания растений приводит к уменьшению длины корней. АОА СОД отличалась в разных органах растений некоторых сортов, а ее более значительное изменение в опыте по сравнению с контролем было выявлено в корнях. Судя по морфометрическим показателям, наименее устойчивым к ионной токсичности Mn^{2+} оказался сорт Белгородский 100, длина корня которого в контроле составила $15,7 \pm 0,4$, а в опыте $13,2 \pm 0,3$; $12,2 \pm 0,1$; $11,5 \pm 0,3$ см в соответствии с дозой марганца 30, 60 и 90 мг/л. По уровню АОА СОД наиболее чувствительным оказался сорт Фермер 198-12, у которого изменение АОА СОД в корнях (% от контроля) составило 158,8; 167,2 и 169,4 % в соответствии с дозой марганца 30,0; 60,0 и 90,0 мг/л (АОА СОД в контроле составила $52,4 \pm 0,4$ %; в опыте $83,1 \pm 2,2$; $87,6 \pm 2,0$ и $88,7 \pm 0,6$ соответственно), в побегах – 121,0; 128,3 и 125,6 % соответственно ($66,7 \pm 7,9$ % в контроле и $80,7 \pm 0,5$; $85,6 \pm 1,4$; $83,8 \pm 0,6$ % в опыте в соответствии с дозой Mn^{2+}).

Ключевые слова: сорт, стресс, длина корня, побеги, листья, супероксиддисмутаза, относительное массовое соотношение корней и побегов.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0093).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Эффекты избытка марганца(II) на рост и антиоксидантный статус проростков ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):369-378. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.369-378>

Поступила: 25.03.2020

Принята к публикации: 23.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

The effect of manganese(II) excess on growth and antioxidant status of barley seedlings

© 2020. Olga A. Simonova¹ ✉, Maksim V. Simonov², Evgeniya V. Tovstik²

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation,

²Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

Manganese belongs to the group of heavy metals, which at high concentrations can have a negative effect on plant development. Typical soils of the Kirov region are acid podzolic and sod-podzolic soils, which are characterized by high content of manganese compounds available for plants. Studied was the effect of manganese(II) ions at the concentrations of 30.0, 60.0 and 90.0 mg/l on the growth and antioxidant activity (AOA) of the superoxide dismutase enzyme (SOD) in the organs of 7 and 14-day-old barley plants grown in aquatic culture. Varieties and forms of barley 346-09, 29-11, Farmer 198-12, Forward and Bionik, resistant to acidic soils (Al^{3+} , H^+) served as objects for the research; Belgorodskij 100 variety was used as standard. When manganese was added to the solution for growing, a decrease in root length and an increase in AOA of SOD in plant roots were noted. It was concluded that increased concentrations of manganese had an effect on the morphometric

parameters and on AOA SOD of barley seedlings. It has been established that increasing the dose of manganese in the solution for growing leads to a decrease in the length of the roots. AOA SOD varied in different organs of plants of some varieties, and its more significant change in the experiment compared with the control was revealed in the roots. Judging by morphometric indicators, the Belgorodskij 100 variety was the least resistant to Mn^{2+} ionic toxicity, the root length of which in the control was 15.7 ± 0.4 cm, and in the experiment 13.2 ± 0.3 ; 12.2 ± 0.1 ; 11.5 ± 0.3 cm in accordance with the dose of manganese 30, 60 and 90 mg / l. According to the level of AOA SOD, the most sensitive variety was Farmer 198-12, its change of AOA SOD in the roots (% of control) was 158.8; 167.2 and 169.4% in accordance with the dose of manganese 30.0; 60.0 and 90.0 mg / l (AOA SOD in the control was $52.4 \pm 0.4\%$; in the experiment 83.2 ± 2.2 ; 87.6 ± 2.0 and 88.7 ± 0.6 , respectively), and in the shoots - 121.0; 128.3 and 125.6 %, respectively (66.7 ± 7.9 % in the control and 80.7 ± 0.5 ; 85.6 ± 1.4 ; 83.8 ± 0.6 % in the experiment in accordance with the dose of Mn^{2+}).

Keywords: variety, stress, root length, shoots, leaves, superoxide dismutase, relative weight ratio of roots and shoots

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 (topic No. 0528-2019-0093).

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: Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. The effect of manganese(II) excess on growth and antioxidant status of barley seedlings. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4): 369-378. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.369-378>

Received: 25.03.2020

Accepted for publication: 23.07.2020

Published online: 24.08.2020

Многие тяжелые металлы (ТМ) являются необходимыми элементами для полноценного развития растений, но в избыточных концентрациях они могут оказывать токсическое действие на их рост. К таким ТМ относится марганец [1]. Подзолистые и дерново-подзолистые почвы характеризуются высоким содержанием как валовых, так подвижных соединений марганца. Известно, что валовые запасы элементов в почве обусловлены составом материнской породы и особенностями почвообразовательного процесса. Например, в почвах Республики Мордовия их среднее количество составляет 1213 мг/кг, а в почвообразующих породах Кировской области – варьирует от 442 до 1226 мг/кг [2, 3]. Доступными для растений, имеющими наибольшее значение для их минерального питания, являются подвижные соединения элементов, содержание которых в почве связано с кислотностью. Токсическое действие избытка ионов марганца(II) на растения может проявляться на почвах с уровнем pH от 5,5 ед. и ниже [4]. Токсичность Mn^{2+} проявляется в нарушении физиолого-биохимических процессов и развитии окислительного стресса, что приводит к торможению роста и снижению продуктивности, а при сильном стрессе и к гибели растений [5].

Наиболее эффективным способом решения данной проблемы является создание устойчивых генотипов сельскохозяйственных культур. В условиях Кировской области наиболее распространенным эдафическим стрессом на дерново-подзолистых почвах является высокая кислотность. При этом избыточное

присутствие подвижного алюминия в кислой почве может усиливать данный эффект [6]. Поэтому значительная часть полученных в регионе сортов сельскохозяйственных культур адаптирована именно к этим почвенным факторам. Известно, что приобретение устойчивости растений к одному виду стресса не исключает устойчивости к другим факторам в силу возможной сопряженной устойчивости [7]. Однако в отдельных случаях прямой корреляции между чувствительностью растений к Al^{3+} , Mn^{2+} и pH почвы не выявлено [8, 9].

Цель работы – изучение влияния повышенных концентраций марганца(II) на рост и антиоксидантный статус сортов ячменя, адаптированных к кислым почвам Кировской области.

Материал и методы. Объектами исследования служили растения ячменя сортов: 346-09; 29-11; Фермер 198-12; Форвард; Бионик из рабочей коллекции лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. В качестве стандарта использовали сорт Белгородский 100, рекомендованный Госкомиссией по сортоиспытанию Кировской области.

Ячмень выращивали на дистиллированной воде в течение 7 суток или на питательном растворе Кнопа ($Ca(NO_3)_2$ – 1; K_3PO_4 – 0,25; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,25; KCl – 0,125 г) в течение 14 суток. Семена закладывали в рулоны по 33 штуки в трехкратной повторности. Марганец вносили в виде соли $MnSO_4 \times H_2O$ в концентрации 30, 60 и 90 мг/л действующего вещества (д. в.). Контрольные растения выращивали без добавления соли. Выбор концен-

траций был обусловлен тем, что предельно допустимые концентрации (ПДК) подвижных соединений марганца (извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8) для дерново-подзолистых почв с pH 4,0 в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06 составляет 60 мг/кг. Вносимые дозы марганца соответствовали 0,5; 1,0 и 1,5 ПДК.

Устойчивость ячменя к марганцу оценивали по ряду показателей. Измеряли длину корней 7-дневных растений и рассчитывали соотношение длины корней растений в опыте и контроле (индекс длины корней, ИДК). Определяли массу сухих растений и относительное (в %) массовое соотношение корней и побегов (ОМС). Показатель ОМС использовали для дифференциации сортов по уровню устойчивости, так как он дает информацию о перераспределении пластических веществ между надземными и подземными органами [10]. Антиоксидантный статус определяли в корнях и надземной части 7-дневных, в листьях 14-дневных растений.

Активность антиоксидантной (АОА) системы оценивали по способности фермента супероксиддисмутазы (СОД) ингибировать аутоокисление адреналина и, тем самым, предотвращать образование активных форм кислорода¹ [11]. Навеску растительного образца (0,2-1,0 г сырой массы) растирали в 10 мл бикарбонатного буфера (pH = 10,30-10,65 ед.) и отфильтровывали. К 3 мл бикарбонатного буфера добавляли 0,1 мл 0,1 % раствора адреналина гидрохлорида и измеряли оптическую плотность при длине волны 347 нм через 2 ч (ОП₁). Далее к 2 мл буфера добавляли 1 мл фильтрата, 0,1 мл 0,1 % раствора адреналина гидрохлорида и определяли оптическую плотность (ОП₂). АОА рассчитывали по формуле:

$$АОА = \frac{(ОП_1 - ОП_2) \times 100 \%}{ОП_1}.$$

По значению величины АОА судили о наличии антиоксидантной активности (более 10 %). По изменению значений АОА СОД в вариантах опыта по сравнению с контролем исследуемые сорта ячменя подразделяли на 3 группы: индифферентные к стрессу (неизменный уровень); чувствительные по отрицательному типу (снижение уровня); чувстви-

тельные по положительному типу (повышение уровня АОА) [12].

Модельные опыты выполняли в 3-кратной повторности. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программы MS Excel. Для числовых характеристик морфометрических и физиологических показателей рассчитывали средние арифметические значения и их стандартные ошибки. Существенность различий между вариантами определяли при уровне значимости $P \geq 0,95$ (P-доверительная вероятность). ИДК, изменение ОМС и АОА СОД в вариантах опыта оценивали в процентах по отношению к контролю (среда для выращивания без добавления марганца).

Результаты и их обсуждение. Оценка морфометрических параметров роста растений по длине корней позволила установить токсический эффект всех исследованных доз марганца в варианте опыта с сортом Белгородский 100 (табл. 1). В этом случае отмечали закономерное уменьшение длины корней с увеличением концентрации ионов марганца(II) в среде для выращивания растений. У остальных исследуемых сортов ячменя минимальная в опыте концентрация ионов марганца(II) не оказала достоверного влияния на линейный рост корней. Исключение составил сорт Фермер 198-12, для которого отмечали стимулирующий эффект (ИДК составил 110,1 %) минимальной дозы марганца (30 мг/л) на линейный рост корней (табл. 1).

По уровню устойчивости к марганцу исследованные сорта ячменя, согласно классификации, предложенной S. Navacode с соавт., отнесены к группе устойчивых (ИДК более 65 %) [13]. При этом сорт Белгородский 100, на фоне других исследованных сортов, имел самые низкие значения ИДК (от 73,3 до 84,1 %). Показатель ОМС по отношению к контролю у сорта Белгородский 100 варьировал от 74,0 до 84,1 %. У остальных исследованных сортов данный показатель отличался от контроля в меньшей степени, чем у стандартного. Однако в случае наибольшей исследуемой в опыте концентрации марганца (90 мг/л) наблюдали снижение значений ОМС у всех исследованных сортов, за исключением сорта Форвард.

¹Сирота Т. В., 1999. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений. Заявка № 99103192 (003673), приоритет от 24.02.1999

Таблица 1 – Влияние марганца на длину корней и ОМС разных сортов ячменя /
Table 1 – The effect of manganese on the length of roots and RWR of different varieties of barley

<i>Copt / Variety</i>	<i>Mn²⁺, мг/л Mn²⁺, mg/L</i>	<i>Длина корня / Root lenght</i>		<i>ОМС, % / RWR, %</i>	
		<i>значения, см / values, cm</i>	<i>ИДК, %/ IRL, %</i>	<i>значения / values</i>	<i>изменение / change</i>
Белгородский 100 / Belgorodskij 100	0	15,7±0,4	-	107,7±0,7	-
	30	13,2±0,3	84,1	90,6±0,8	84,1
	60	12,2±0,1	77,7	88,5±1,4	82,2
	90	11,5±0,3	73,3	79,7±1,3	74,0
346-09	0	17,0±0,1	-	96,4±1,3	-
	30	16,7±0,6	98,2	100,6±1,3	104,3
	60	15,7±0,3	92,4	99,4±0,8	103,1
	90	14,6±0,5	85,9	92,0±2,5	95,4
Форвард / Forward	0	16,1±0,5	-	102,6±4,4	-
	30	16,5±0,2	102,5	108,5±1,3	105,7
	60	15,4±0,3	95,7	105,4±2,5	102,8
	90	13,1±1,1	81,4	102,8±1,7	100,2
Фермер 198-12 / Farmer 198-12	0	15,8±0,5	-	117,5±0,7	-
	30	17,4±0,1	110,1	111,9±0,4	95,3
	60	14,5±0,7	91,8	111,0±2,6	94,4
	90	12,8±0,6	81,0	95,4±1,7	81,2
29-11	0	14,4±0,3	-	125,0±1,5	-
	30	14,2±0,2	98,6	128,0±1,4	102,4
	60	13,4±0,1	93,1	133,1±0,9	106,5
	90	12,1±0,3	84,0	122,4±0,1	97,9
Бионик / Bionik	0	15,4±0,3	-	124,8±1,9	-
	30	14,9±0,4	96,8	105,2±1,4	84,3
	60	14,2±0,3	92,2	123,8±1,4	99,2
	90	13,4±0,4	87,0	112,2±1,7	89,9

Примечания: ИДК – индекс длины корней; ОМС – относительное массовое соотношение корней и побегов /
 Notes: IRL – index of root length; RWR – relative weight ratio of roots and shoots.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными Н. М. Казниной с соавт., согласно которым с повышением концентрации тяжелых металлов в субстрате для выращивания растений происходит уменьшение значений показателя ОМС [14]. Например, внесение избыточной концентрации марганца в среду выращивания способствовало снижению значений соотношения корень/побег у риса, причем у чувствительного сорта в большей степени, чем у толерантного [15]. В нашей работе максимальное изменение было зафиксировано у сорта Фермер 198-12, у которого значение ОМС в контроле составило 117,5 %, а в опыте с добавлением 90 мг/л ионов марганца(II) – 95,4 %. В некоторых случаях наблюдалось увеличение изменения ОМС в опыте по отношению к контролю. В работе

С. Р. Zhou с соавт. также было выявлено увеличение значений данного показателя при воздействии повышенных концентраций ионов Mn(II) по сравнению с контролем на рост пшеницы [16]. Любое изменение, т. е. как снижение, так и повышение ОМС в опыте относительно контроля является адаптационным механизмом растений при воздействии стрессовых факторов.

На основе значений показателей ИДК и ОМС можно заключить, что исследованные сорта ячменя, по сравнению с Белгородским 100, более устойчивы к ионной токсичности марганца. Однако по морфометрическим параметрам роста среди исследованных сортов выделить наиболее устойчивого к марганцу сорта не удалось. С этой целью проведена оценка антиоксидантной активности растений.

По результатам исследований антиоксидантная активность СОД в корнях растений ячменя во всех вариантах опыта увеличилась по сравнению с контролем (табл. 2). Исключение составил сорт Бионик, для которого повышение значений данного показателя отмечали только в случае внесения 60,0 и 90,0 мг/л Mn^{2+} . Данный факт можно связать с активацией защитных механизмов ячменя при воздействии повышенных концентраций марганца на ранних стадиях его развития. Известно, что неблагоприятные факторы,

в том числе высокие концентрации тяжелых металлов, с одной стороны, способствуя накоплению в клетках растений активных форм кислорода, способны вызывать окислительные повреждения и, в конечном итоге, приводить к снижению продуктивности растений [11]. С другой стороны, у растений существует система детоксикации, то есть обезвреживания активных форм кислорода, в состав которой входит и фермент СОД [11]. Избыточные концентрации марганца способствуют увеличению активности СОД [4].

Таблица 2 – Влияние марганца на АОА СОД в корнях 7-дневных ростков ячменя /
 Table 2 – The effect of manganese on AOA SOD in the roots of 7-day barley seedlings

Сорт / Variety	Mn^{2+} , мг/л Mn^{2+} , mg/L	АОА, %	
		значения / values	изменение / change
Белгородский 100 / Belgorodskij 100	0	91,2±2,4	-
	30	98,1±0,6	107,5
	60	98,3±0,5	107,8
	90	98,7±0,1	108,3
346-09	0	85,5±2,5	-
	30	96,9±0,7	113,4
	60	98,6±0,1	115,4
	90	98,3±0,1	115,0
Форвард / Forward	0	65,5±7,8	-
	30	78,8±4,3	120,2
	60	84,1±3,3	128,4
	90	86,8±1,9	132,5
Фермер 198-12 / Farmer 198-12	0	52,4±0,4	-
	30	83,2±2,2	158,8
	60	87,6±2,0	167,2
	90	88,7±0,6	169,4
29-11	0	91,8±0,3	-
	30	93,8±0,7	102,1
	60	94,7±0,9	103,1
	90	93,5±1,0	101,8
Бионик / Bionik	0	92,0±1,2	-
	30	92,8±1,9	100,8
	60	95,0±0,2	103,2
	90	94,7±0,5	102,9

Наибольшие изменения значений АОА СОД в корнях фиксировали у сорта Фермер 198-12 (от 58,8 до 69,3 % относительно контроля), а наименьшие – у сортов 29-11 и Бионик. У сорта Белгородский 100 изменение антиоксидантной активности под действием ионов марганца(II) было ниже, чем у боль-

шинства других исследованных сортов ячменя, за исключением 29-11 и Бионик. Зависимости между значениями АОА и дозой марганца в среде для выращивания растений не было установлено. По изменению уровня АОА СОД в корнях все исследованные сорта ячменя отнесены к третьему типу, что говорит об их

чувствительности к изучаемому стрессовому фактору. По литературным данным, уровень антиоксидантов может отличаться не только у разных видов, но и у разных сортов [4, 15]. При этом активность ферментов у чувствительных сортов выше, чем у толерантных [17]. Следовательно, в наших исследованиях сорт Фермер 198-12 оказался наиболее чувствительным к повышенной концентрации $Mn(II)$ по сравнению с другими сортами ячменя. Установленный факт отсутствия ингибирующего действия минимальной в опыте концентрации ионов марганца(II) на линейный рост корней исследованных сортов ячменя, в отличие от антиоксидантной активности, значения

которой при этом возросли, можно связать с биогенностью данного элемента.

В ходе исследования влияния марганца на АОА СОД в побегах 7-дневных проростков ячменя исследуемых сортов фиксировали её более высокие значения в опыте по сравнению с контролем (табл. 3). Зависимости между значениями АОА СОД в побегах проростков и дозой марганца, как и в случае корней, не было установлено. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, согласно которым активность антиоксидантных ферментов в присутствии тяжелых металлов, как правило, увеличивается, что способствует повышению уровня АОА и практически не зависит от концентрации металла [18].

Таблица 3 – Влияние марганца на АОА СОД в побегах (7-дневных) и листьях (14-дневных) ячменя /
Table 3 – The effect of manganese on AOA SOD in 7-day shoots and 14-day leaves of barley

Сорт / Variety	Mn^{2+} , мг/л / Mn^{2+} , mg/L	АОА, %			
		побеги / shoots	изменение / change	листья / leaves	изменение /change
Белгородский 100 / Belgorodskij 100	0	92,5±2,6	-	92,0±2,6	-
	30	98,4±0,1	106,3	93,8±1,4**	102,0
	60	98,3±0,4	106,2	88,9±1,4**	96,7
	90	98,4±0,7	106,4	89,2±3,1**	97,0
346-09	0	91,9±1,1	-	90,6±2,5	-
	30	96,8±0,2*	105,3	91,7±0,7**	101,3
	60	98,3±0,4	106,9	89,6±1,6**	98,9
	90	98,4±0,1	107,1	90,8±3,0**	100,3
Форвард / Forward	0	80,0±4,8*	-	84,8±5,1*	-
	30	81,2±2,7	101,5	94,5±1,1**	111,8
	60	80,8±5,6	101,0	94,0±0,8**	111,2
	90	73,0±8,7*	91,2	93,0±1,4**	110,1
Фермер 198-12 / Farmer 198-12	0	66,7±7,9	-	88,5±2,4**	-
	30	80,7±0,5	121,0	91,7±0,7**	103,6
	60	85,6±1,4	128,2	89,3±0,8***	101,0
	90	83,8±0,6*	125,6	86,3±4,0	97,5
29-11	0	85,1±2,9*	-	86,0±4,3*	-
	30	89,9±2,4*	105,7	96,1±1,5**	111,7
	60	91,8±1,3*	107,8	95,6±1,3***	111,2
	90	92,6±0,3	108,8	97,3±0,2**	113,1
Бионик / Bionik	0	88,1±1,4*	-	83,1±1,2**	-
	30	91,4±1,5	103,7	91,0±2,7	109,5
	60	92,1±1,4*	104,6	80,0±3,0**	96,3
	90	93,3±0,5*	106,0	81,1±0,8**	97,6

* – достоверное отличие от АОА СОД в корнях; ** – в корнях и побегах; *** – в побегах /

* – significant difference of AOA SOD in roots; ** – in roots and shoots; *** – in shoots

Из спектра исследованных сортов отличился Форвард, для которого отмечали отсутст-

вие достоверного влияния марганца на уровень АОА СОД в побегах. Наибольшее изменение

уровня АОА СОД во всех вариантах опыта по сравнению с контролем (121,0-128,6 %) было выявлено у сорта Фермер 198-12.

В отличие от побегов, уровень антиоксидантной активности СОД в листьях 14-дневных растений ячменя отличался у разных сортов (табл. 3). Так, для сортов Белгородский 100 и 346-09 отмечали отсутствие достоверных изменений в значениях АОА относительно контроля при добавлении марганца в среду для выращивания растений. Тогда как у сортов Форвард и 29-11 все исследуемые дозы марганца оказали значимое влияние на уровень АОА СОД в листьях, заключающееся в его повышении. У сортов Фермер 198-12 и Бионик достоверное повышение значения данного показателя наблюдали только в вариантах с концентрацией Mn^{2+} 30,0 мг/л, что может быть связано с биогенностью исследуемого металла. Известно, что в живых организмах марганец входит в состав ферментов. Например, марганец содержит одна из изоформ фермента СОД, а именно – $MnCOД$ [11].

У растений сорта Бионик фиксировали уменьшение антиоксидантной активности СОД в листьях под действием 90,0 мг/л Mn^{2+} . Отличия между значениями исследуемого параметра для побегов и листьев растений ячменя могут быть объяснены продолжительностью токсического воздействия ионов [19]. Кроме того, по данным литературы, возможны различия в активности антиоксидантных ферментов в зависимости от органов растений [17]. Наибольшее изменение уровня АОА СОД в листьях в вариантах опыта по сравнению с контролем было выявлено у сортов Форвард и 29-11 (110-113 %).

Таким образом, оценка антиоксидантного статуса растений ячменя большинства исследованных сортов на ранних стадиях развития (7 суток) позволила установить токсический эффект ионов марганца(II). Исключение составил сорт Форвард, который по изменению уровня АОА СОД в побегах был отнесен к категории индифферентных к стрессу растений, то есть устойчивых. По изменению АОА фермента в листьях наиболее устойчивыми к марганцу на ранних стадиях развития оказались сорта Белгородский 100 и 346-09.

Уровень антиоксидантной активности СОД в побегах всех исследованных в опыте сортов ячменя, кроме Белгородский 100,

достоверно отличился от такового в корнях. Данное отличие отмечали у сорта 346-09 в контрольном варианте, у сортов Форвард и Фермер 198-12 – в варианте опыта с максимальной концентрацией марганца, у сортов 29-11 и Бионик – во всех вариантах, за исключением 90 и 30 мг/л Mn^{2+} соответственно. В целом уровень АОА СОД в побегах либо достоверно не отличался, либо был ниже, чем в корнях. Изменение уровня АОА фермента в побегах в опыте по сравнению с контролем было выражено слабее, чем в корнях. С одной стороны, в некоторых работах имеются сведения о том, что активность антиоксидантных ферментов в побегах может быть выше, чем в корнях [17]. Однако тяжелые металлы поступают из почвы в растения через корни. Большинство растений, в том числе ячмень, относятся к группе исключателей, накапливающих тяжелые металлы преимущественно в корнях, в которых и происходит в первую очередь детоксикация ТМ [20]. Наименьшее отличие изменения уровня АОА СОД в корнях и побегах в опыте по сравнению с контролем было выявлено у сортов Белгородский 100 и Бионик.

По сравнению с данными по АОА СОД, полученными для 7-дневных проростков ячменя, значения АОА фермента в листьях 14-дневных растений отличались от таковых в корнях и побегах некоторых сортов. У сортов Белгородский 100, 346-09 и Бионик наблюдали уменьшение значений АОА СОД в листьях во всех вариантах опыта. Для Бионика исключение составил вариант опыта с наименьшей исследуемой в опыте концентрацией ионов марганца(II). У остальных сортов в большинстве вариантов опыта было выявлено увеличение уровня АОА СОД в листьях по сравнению с корнями и побегами.

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что уровень антиоксидантной активности растений зависит не только от их возраста, но и органа растений. В надземной части растений ячменя уровень АОА СОД выражен слабее, чем в корнях.

Выводы. 1. Повышенные концентрации ионов марганца(II) оказывают влияние на морфометрические параметры роста растений и на антиоксидантную активность СОД в корнях, побегах и листьях ячменя.

2. По параметрам оценки корневой системы все исследованные сорта ячменя отно-

сятся к группе устойчивых (ИДК более 65 %). Однако с увеличением концентрации Mn^{2+} в среде выращивания происходит уменьшение длины корней.

3. Уменьшение значения ОМС у всех исследованных сортов относительно контроля было зафиксировано в варианте опыта с добавлением марганца 90 мг/л, что свидетельствует о нарушении развития растений ячменя при высоких концентрациях марганца. Исключение составил сорт Форвард, у которого изменение ОМС в опыте относительно контроля составило 100,2 %.

4. По морфометрическим параметрам (ИДК и ОМС) наиболее чувствительным к избытку марганца оказался стандартный сорт Белгородский 100.

5. По сравнению с контролем АОА СОД под действием марганца увеличивается во всех органах растений: корнях, побегах и листьях. Изменение АОА СОД в корнях большинства сортов в опыте по отношению к контролю было более значительным, чем в побегах и листьях.

6. По параметрам ОМС и АОА СОД наиболее чувствительным оказался сорт Фермер 198-12. Значение ОМС у растений данного сорта в контроле составило 117,5 %, тогда как в опыте с добавлением 90 мг/л ионов марганца(II) – 95,4 %. Изменение АОА СОД в корнях (% от контроля) составило 158,8; 167,2 и 169,4 % в соответствии с дозой марганца 30,0; 60,0 и 90,0 мг/л, а в побегах – 121,0; 128,3 и 125,6 % соответственно.

Таким образом, все исследованные сорта ячменя оказались устойчивыми к повышенным концентрациям марганца в дозах 30, 60 и 90 мг/л. Однако достоверное уменьшение длины корней и изменение ОМС свидетельствует об отрицательном влиянии данных концентраций элемента на проростки ячменя. Наибольшее повышение уровня АОА СОД в ответ на воздействие избытка $Mn(II)$ у некоторых сортов (Форвард и Фермер 198-12), по сравнению с остальными, свидетельствует об их большей чувствительности к данному стрессу.

Список литературы

1. Schmidt S. B., Jensen P. E., Husted S. Manganese Deficiency in Plants: The Impact on Photosystem II. Trends in Plant Science. 2016; 21(7): 622-632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.03.001>
2. Шихова Л. Н., Егошина Т. Л. Тяжелые металлы в почвах и растениях Северо-Востока европейской части России. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2004. 264 с.
3. Пугаев С. В. Геохимическое районирование пахотных почв республики Мордовия по содержанию тяжелых металлов. Достижения науки и техники АПК. 2015;(29(3)):28-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23200166>
4. Millaleo R., Reyes-Díaz M., Ivanov A. G., Mora M. L., Alberdi M. Mn as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. J. Soil Sci. Plant Nutr. 2010;10(4):476-494. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000200008>
5. Santos E. F., Kondo Santini J. M., Paixão A. P., Júnior E. F., Lavres J., Campos M., Reis A. R. Dos. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. Plant Physiology and Biochemistry. 2017; 113: 6-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022>
6. Zhou G., Delhaize E., Zhou M., Ryan P. R. Biotechnological Solutions for Enhancing the Aluminium Resistance of Crop Plants. Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations. 2011. P. 119-142.
7. Cox W., Levitt Y. Interrelations between environmental factors and resistance of cabbage leaves. Plant Physiol. 1976;57 (4):553-555.
8. Yost R. S. Plant Tolerance of Low Soil pH, Soil Aluminum, and Soil Manganese. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture, 2000. Chapter 11. P. 113-115. URL: <https://www.ctahr.hawaii.edu>
9. Шуплецова О. Н., Широких И. Г. Повышение устойчивости ячменя к токсичности металлов и осмотическому стрессу путем клеточной селекции. Зерновое хозяйство России. 2015; (1): 57-62. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22994658>
10. Лисицын Е. М. Показатели развития корневых систем в эдафической селекции ячменя. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018;(2(26)):66-71. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10019>
11. Загоскина Н. В., Назаренко Л. В. Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений. Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Естественные науки». 2016; (2(22)):9-23. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125309>
12. Зеленков В. Н., Марков М. В., Лапин А. А. Антиоксидантный статус растений, выявленный при изучении экосистем Тамбовской области. Экологические аспекты жизнедеятельности человека, животных и растений: монография. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2017. С. 177-195.
13. Navacode S., Weidner A., Varshney R. K., Lohwasser U., Scholz U., Roder M.S., Börner A. A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals. Agric. Conspec. Sci. 2010;75 (4):191-196. URL: <https://hrca.srce.hr/66006>

14. Казнина Н. М., Батова Ю. В., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф. Роль отдельных компонентов антиоксидантной системы в адаптации растений *Elytrigia repens* (L.) Nevski к кадмию. Труды Карельского научного центра РАН. 2016; (11): 17-26. DOI: <https://doi.org/10.17076/eb365>
15. Li P., Song A., Li Z., Fan F., Liang Y. Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil. 2012;(354):407-419. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1076-4>
16. Zhou C. P., Qi Y. P., You X., Yang L. T., Guo P., Ye X., Zhou X. X., Ke F. J., Chen L. S. Leaf cDNA-AFLP analysis of two citrus species differing in manganese tolerance in response to long-term manganese-toxicity BMC Genomics. 2013; (14:621): 1-19. URL: <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/621>
17. Rezai K., Farboodnia T. Manganese Toxicity Effects on Chlorophyll Content and Antioxidant Enzymes in Pea Plant (*Pisum sativum* L. c. v. qazvin). Agricultural Journal. 2008;(3(6)):454-458. URL: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/aj/2008/454-458.pdf>
18. Foyer C. H., Lopez-Delgado H., Dat J. F., Scott I. M. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signaling. Physiol. Plant. 1997;100:241-254. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb04780.x>
19. Iannone M. F., Rosales E. P., Groppa M. D., Benavides M. P. Reactive oxygen species formation and cell death in catalase-deficient tobacco leaf disks exposed to cadmium. Protoplasma. 2010;245:15-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0097-9>
20. Пищик В. Н., Воробьев Н. И., Проворов Н. А., Хомяков Ю. В. Механизмы адаптации растений к тяжелым металлам. Агрофизика. 2015; (2): 38-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23710052>

References

1. Schmidt S. B., Jensen P. E., Husted S. Manganese Deficiency in Plants: The Impact on Photosystem II. Trends in Plant Science. 2016; 21(7): 622-632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.03.001>
2. Shikhova L. N., Egoshina T. L. *Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Severo-Vostoka evropeyskoy chasti Rossii*. [Heavy metals in soils and plants of the North-East of the European part of Russia]. Kirov: Zonal'nyy NIISKh Severo-Vostoka, 2004. 264 p.
3. Pugaev S. V. *Geokhimicheskoe rayonirovanie pakhotnykh pochv respubliki Mordoviya po sodержaniyu tyazhelykh metallov*. [Geochemical zoning of arable soils in Mordovia according to heavy metal contents]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;(29(3)):28-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23200166>
4. Millaleo R., Reyes-Díaz M., Ivanov A. G., Mora M. L., Alberdi M. Mn as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and re-sistance mechanisms. J. Soil Sci. Plant Nutr. 2010;10(4):476-494. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000200008>
5. Santos E. F., Kondo Santini J. M., Paixão A. P., Júnior E. F., Lavres J., Campos M., Reis A. R. Dos. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. Plant Physiology and Biochemistry. 2017;113:6-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022>
6. Zhou G., Delhaize E., Zhou M., Ryan P. R. Biotechnological Solutions for Enhancing the Aluminium Resistance of Crop Plants. Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations. 2011. pp. 119-142.
7. Cox W., Levitt Y. Interrelations between environmental factors and resistance of cabbage leaves. Plant Physiol. 1976;57(4):553-555.
8. Yost R. S. Plant Tolerance of Low Soil pH, Soil Aluminum, and Soil Manganese. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture, 2000. Chapter 11. pp. 113-115. URL: <https://www.ctahr.hawaii.edu>
9. Shchupletsova O. N., Shirokikh I. G. *Povyshenie ustoychivosti yachmenya k toksichnosti metallov i osmoticheskomu stressu putem kletochnoy seleksii*. [Increasing the resistance of barley to metal toxicity and osmotic stress by cell selection]. *Zernovoe khozyaystvo Rossi = Grain Economy of Russia*. 2015;(1):57-62. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22994658>
10. Lisitsyn E. M. *Pokazateli razvitiya kornevykh sistem v edaficheskoy seleksii yachmenya*. [Indexes of root system development for barley edaphic breeding]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and groat crops*. 2018; (2 (26)): 66-71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348Kh-2018-10019>
11. Zagorskina N. V., Nazarenko L. V. *Aktivnye formy kisloroda i antioksidantnaya sistema rasteniy*. [Active oxygen species and antioxidant system of plants]. *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta = Vestnik of Moscow City Teachers Training University. Seriya «Estestvennye nauki»*. 2016;(2 (22)):9-23. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125309>
12. Zelenkov V. N., Markov M. V., Lapin A. A. *Antioksidantnyy status rasteniy, vyyavlenyy pri izuchenii ekosistem Tambovskoy oblasti*. [Antioxidant status of plants revealed in the study of ecosystems of the Tambov region]. *Ekologicheskie aspekty zhiznedeyatel'nosti cheloveka, zhivotnykh i rasteniy: monografiya*. [Environmental aspects of human, animal and plant life: monograph.]. Belgorod: ID «Belgorod» NIU «BelGU», 2017. pp. 177-195.

13. Navacode S., Weidner A., Varshney R. K., Lohwasser U., Scholz U., Roder M. S., Börner A. A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals. *Agric. Conspec. Sci.* 2010; 75 (4): 191-196. URL: <https://hrcak.srce.hr/66006>
14. Kaznina N. M., Batova Yu. V., Titov A. F., Laydinen G. F. *Rol' ot del'nykh komponentov antioksidantnoy sistemy v adaptatsii rasteniy Elytrigia repens (L.) Nevski k kadmiyu*. [Role of individual components of the antioxidant system in the adaptation of *Elytrigia repens* (L.) Nevski plants to cadmium]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* = Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 2016;(11):17-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17076/eb365>
15. Li P., Song A., Li Z., Fan F., Liang Y. Silicon ameliorates manga-nese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil*. 2012; (354): 407-419. DOI: <https://doi.org/10.1007/s1104-011-1076-4>
16. Zhou C. P., Qi Y. P., You X., Yang L. T., Guo P., Ye X., Zhou X. X., Ke F. J., Chen L. S. Leaf cDNA-AFLP analysis of two citrus species differing in manganese tolerance in response to long-term manganese-toxicity *BMC Genomics*. 2013; (14:621): 1-19. URL: <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/621>
17. Rezai K., Farboodnia T. Manganese Toxicity Effects on Chloro-phyll Content and Antioxidant Enzymes in Pea Plant (*Pisum sativum* L. c. v. qazvin). *Agricultural Journal*. 2008; (3(6)): 454-458. URL: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/aj/2008/454-458.pdf>
18. Foyer C. H., Lopez-Delgado H., Dat J. F., Scott I. M. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signaling. *Physiol. Plant*. 1997;100:241-254. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb04780.x>
19. Iannone M. F., Rosales E. P., Groppa M. D., Benavides M. P. Reactive oxygen species formation and cell death in catalase-deficient tobacco leaf disks exposed to cadmium. *Protoplasma*. 2010;245:15-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0097-9>
20. Pishchik V. N., Vorob'ev N. I., Provorov N. A., Khomyakov Yu. V. *Mekhanizmy adaptatsii rasteniy k tyazhelym metallam*. [Mechanisms of plant adaptation to heavy metals]. *Agrofizika*. 2015;(2):38-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23710052>

Сведения об авторах

✉ **Симонова Ольга Александровна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник отдела эдафической устойчивости растений, 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/0000-0002-8326-0101>, e-mail: simolga07@gmail.com

Симонов Максим Васильевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, e-mail: mv_simonov@vyatsu.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3805-9246>, e-mail: simaksim@mail.ru

Товстик Евгения Владимировна, кандидат биол. наук, с.н.с. ЦК «Экологические технологии и системы», доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: ev_tovstik@vyatsu.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>, e-mail: tovstik2006@inbox.ru

Information about the authors

✉ **Olga A. Simonova**, PhD in Agricultural science, researcher, the Department of Edaphic Plant Resistance, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin St., 166a, Kirov, Russia, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8326-0101>, e-mail: simolga07@gmail.com

Maksim V. Simonov, PhD in Engineering, associate professor, the Chair of Engineering Technology, Vyatka State University, Moskovskaya St., 36, Kirov, Russia, 610000, e-mail: mv_simonov@vyatsu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-9246>

Evgeniya V. Tovstik, PhD in Biology, senior researcher, the Center of Competence “Environmental Technologies and Systems”, associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, Vyatka State University, Moskovskaya St., 36, Kirov, Russia, 610000, e-mail: ev_tovstik@vyatsu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>, e-mail: tovstik2006@inbox.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Сортоизучение мягкой пшеницы в условиях южной части Волго-Вятского региона

© 2020. И. Ю. Иванова✉

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

В статье приводятся результаты изучения сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) различных эколого-географических групп в условиях Чувашской Республики за 2016-2019 гг. Объектом исследования являлись 72 сорта и сортообразца яровой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции (Беларуси, Канады, США, Казахстана, Германии, Польши, Украины и Австралии). За стандарт взят районированный по Волго-Вятскому региону сорт Симбирцит (Россия). Установлена низкая адаптивность большинства изученных сортов к почвенно-климатическим условиям региона за счет сильной вариабельности урожайности. Два российских сорта Архат и Икар с относительно высоким коэффициентом адаптивности (0,71-0,72) превысили сорт-стандарт по урожайности соответственно на 0,68 и 0,67 т/га, или 18,2 и 18,0 %. По продуктивной кустистости (на 53,8-61,5 % выше стандарта) выделились сорта Винни (Австралия), Мерцана и Омская 41 (Россия); высоте растений (на 10,6-14,7 %) – Экада 113, Мерцана и Юлия (Россия); длине колоса (на 13,4-22,0 %) – Мутант остистый (Беларусь), Радуга и Мис (Россия); количеству зерен в колосе (на 25,3-34,3 %) – Икар, Екатерина и Агата (Россия); массе зерна с колоса (на 14,8 %) – Архат и Экада 113 (Россия); массе 1000 зерен (на 4,5 %) – Маргарита (Россия). Выделено 12 сортов с сильной взаимосвязью ($R > 0,7$) урожайности с элементами продуктивности.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, урожайность, адаптивность, вариабельность, элементы продуктивности

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0093).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванова И. Ю. Сортоизучение мягкой пшеницы в условиях южной части Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):379-386. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.379-386>

Поступила: 17.02.2020

Принята к публикации: 20.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Study of soft wheat varieties in the southern part of the Volga-Vyatka region

© 2020. Inga Yu. Ivanova✉

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

The article provides the results of studying the varieties of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) of various ecological and geographical groups in the conditions of the Chuvash Republic for 2016-2019. The objects of the study were presented by 72 varieties and variety samples of spring soft wheat of Russian and foreign selection (Belarus, Canada, USA, Kazakhstan, Germany, Poland, Ukraine and Australia). The Simbirцит variety zoned in the Volga-Vyatka region (Russia) was used as standard. Low adaptability of most of the studied varieties to the soil and climate conditions of the region due to the strong variability of yield was established. Two Russian varieties Arhat and Icarus with a relatively high coefficient of adaptability (0.71-0.72) exceeded the standard variety in yield by 0.68 and 0.67 t/ha or 18.2 and 18.0 %, respectively. By productive bushiness (53.8-61.5 % higher than the standard), Binni (Australia), Mercana and Omskaya 41 (Russia) were distinguished; by plant height (10.6-14.7 %) – Ekada 113, Mercana and Yulia (Russia); by ear length (13.4-22.0 %) – Mutant ostistyj (Belarus), Raduga and Mis (Russia); by the number of grains in the ear (25.3-34.3 %) – Icar, Ekaterina and Agata (Russia); by weight of grains in the ear (14.8 %) – Arhat and Ekada 113 (Russia); by weight of 1000 grains (4.5 % higher than the standard) – Margarita (Russia). Twelve varieties with strong relation between yield and elements of productivity ($R > 0.7$) have been selected.

Keywords: spring soft wheat, yield, adaptability, variability, productivity elements

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0093).

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

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

For citation: Ivanova I.Yu. Study of soft wheat varieties in the southern part of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4): 379-386. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.379-386>

Received: 17.02.2020

Accepted for publication: 20.07.2020

Published online: 24.08.2020

Проблема получения стабильных урожаев зерна является весьма актуальной для различных регионов России. В сложном комплексе мероприятий по решению данной проблемы важная роль отводится созданию высокопродуктивных сортов, максимально адаптированных к природным условиям определенной почвенно-климатической зоны. Эти задачи призвана решать селекция [1, 2, 3]. Одним из основных способов создания сортов сельскохозяйственных культур до сих пор остается гибридизация с последующим отбором рекомбинантных генотипов с яркой выраженностью комплекса селекционно-ценных признаков [4, 5].

Успех селекции зависит от правильного подбора исходного материала. Изучение коллекции сельскохозяйственных культур непосредственно в тех или иных климатических условиях позволяет выявить и рекомендовать селекционерам и агрономам наиболее ценные формы и сорта для различных направлений селекционной работы [6]. Селекция всегда начинается с формирования и всестороннего изучения исходного материала, которым чаще всего выступают местные сорта [7], но они не могут быть единственным источником, необходимо привлечение материала из других стран и континентов [8, 9, 10]. Уверенно прогнозировать селекционную ценность коллекционных образцов можно в том случае, когда известны их потенциальные возможности. В связи с этим для реализации селекционных программ и исследований по экологической адаптации и хозяйственной пригодности образцов необходимо расширенное и углубленное изучение коллекционного материала, на основании которого выделяются источники ценных признаков для дальнейшего пользования в селекционном процессе [11].

Важным фактором при улучшении сортового разнообразия яровой пшеницы остается обогащение генетического потенциала путем вовлечения в селекционный процесс мировой коллекции пшениц ВИР в качестве исходного материала, обладающего стрессоустойчивостью и комплексом хозяйственно ценных признаков [12, 13]. Совершенствование сортов возможно лишь при наличии генофонда, который представлен широким ассортиментом образцов коллекции ВИР [14].

Цель исследований – изучение сортообразцов яровой мягкой пшеницы для выделения новых доноров и источников селекционно-ценных признаков в природно-климатических условиях Волго-Вятского региона.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Чувашского НИИСХ. Почва опытного участка серая лесная, тяжелосуглинистая, иловато-среднепылевая, слабосмытая на лессовидном покровном суглинке. Содержание гумуса 4,6 %, подвижного фосфора – 125 мг/кг, обменного калия – 146 мг/кг, кислотность почвы – 6,1 ед. рН.

Объектами исследования служили 72 сорта и сортообразца яровой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции (Беларуси, Канады, США, Казахстана, Германии, Польши, Украины и Австралии). В качестве стандарта использовали среднеспелый районированный сорт Симбирцит (Россия).

У привлеченных в исследование сортов изучена продолжительность всего вегетационного периода, которая определялась как период от всходов до созревания, то есть от дня посева до дня, когда отмечена фаза полной спелости. В наших опытах сорта яровой пшеницы по срокам спелости были разделены на 4 группы:

- раннеспелая (5,56 % от общего количества сортов) с продолжительностью вегетационного периода 60-67 дней;
- среднеранняя (6,9 %) с продолжительностью вегетационного периода 68-72 дня;
- среднеспелая (79,2 %) с продолжительностью вегетационного периода 75-80 дней;
- среднепоздняя (8,3 %) с продолжительностью вегетационного периода более 81 дня.

В опыте применялась ресурсосберегающая технология возделывания, разработанная в Чувашском НИИСХ [15]. Для посева использовали селекционную сеялку СН-16, деланка шириной 1,6 м, площадью – 16 м², повторность трехкратная, норма высева 6 млн всхожих семян на га, глубина заделки – 6 см [16].

Фенологические наблюдения, оценку сортообразцов и учет состояния растений по фазам развития проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹ и методическим указаниям ВИР по изучению мировой коллекции пшеницы².

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: «Колос», 1985. Вып. 1, 2. 267 с.

²Мережко А. Ф. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопа и тритикале. Методические указания. СПб.: ВИР, 1999. С. 32-35.

Делянки закладывали по типу контрольного питомника. Учет урожая проводили весовым методом. Математическая обработка урожайных данных проведена методом дисперсионного анализа³. Оценку адаптивности сортов проводили в соответствии с методическими указаниями Л. А. Животкова и др.⁴.

Метеоусловия в годы исследований отличались по температурному режиму и количеству осадков за вегетационный период. По условиям увлажнения к засушливым относились 2016 и 2018 гг. (ГТК = 0,86 и 0,68), избыточно увлажненным – 2017 г. (ГТК = 1,47) при среднемноголетнем значении ГТК = 1,11

[17]. Сумма активных температур ($\sum t > 10^\circ\text{C}$) в 2016 году составила 2402 °С, 2017 – 1825 °С, 2018 – 1782 °С, в 2019 году – 2303 °С. 2019 год был умеренно тёплым с дефицитом влаги в начале вегетации растений и с высокой влагообеспеченностью в фазу созревания культуры, ГТК вегетационного периода составил 1,09.

Результаты и их обсуждение. В коллекционном питомнике среди изученных 72 сортообразцов по урожайности выделилось 20 сортов (табл. 1), у которых данный показатель в среднем за 2016-2019 гг. превысил сорт-стандарт Симбирцит (селекция ФГБНУ Ульяновский НИИСХ).

*Таблица 1 – Урожайность сортов яровой пшеницы, ц/га (2016-2019 гг.) /
Table 1 – Yield of spring wheat varieties, c/ha (2016-2019)*

Сорт / Variety	Урожай- ность / Yield	Отклонение от ст., ± / Deviation to the st., ±		Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %	Коэффициент адаптивности / Coefficient of adaptability
		ц/га / c/ha	%		
Симбирцит – стандарт / Simbircit – standard	37,3	-	-	11,9	0,6
Маргарита / Margarita	40,6	3,3	8,8	20,1	0,7
Архат / Arhat	44,1	6,8	18,2	17,0	0,7
Экада 113 / Ekada 113	39,2	1,8	5,0	41,8	0,6
Омская 41 / Omskaya 41	41,1	3,8	10,2	21,6	0,7
Екатерина / Ekaterina	39,2	1,9	5,1	25,8	0,6
Kontesa	38,9	1,6	4,3	43,8	0,6
Московская 35 / Moskovskaya 35	42,7	5,2	13,9	17,2	0,7
Йолдыз / Joldyz	41,3	4,0	10,7	15,5	0,7
Мерцана / Mercana	42,6	5,3	14,2	35,4	0,7
Ленинградка / Leningradka	38,2	0,9	2,4	15,2	0,6
Мутант остистый / Mutant ostistyj	40,6	3,3	8,8	21,6	0,7
Марбл / Marbl	37,6	0,3	0,8	16,4	0,6
Икар / Icar	44,0	6,7	18,0	44,0	0,7
Binnu	39,0	1,7	4,6	23,7	0,6
Мис / Mis	37,5	0,2	0,5	19,5	0,6
Тайна / Tajna	39,2	1,9	5,1	21,4	0,6
Юлия / Julia	38,7	1,4	3,8	26,7	0,6
Лиза / Liza	37,5	0,2	0,5	5,7	0,6
Радуга / Raduga	38,0	0,7	1,9	19,0	0,6
Агата / Agata	39,9	2,6	7,0	26,7	0,7

³Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: «Колос». 1985. 351 с.

⁴Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность». Селекция и семеноводство. 1994. №2. С. 3-6.

В засушливые годы максимальная урожайность получена в 2016 г. у сорта Мерцана (59,6 ц/га, НСР₀₅ = 13,6) и в 2018 г. у сорта Красноярская 12 (54,4 ц/га, НСР₀₅ = 8,1) при урожайности стандарта Симбирцит 31,0 ц/га (2016 г.) и 38,9 ц/га (2018 г.). Во влажный 2017 год сорт Экада 113 превысил урожайность стандарта на 18,4 ц/га при НСР₀₅ = 11,4, а в экстремальный для развития растений яровой мягкой пшеницы 2019 год сорт Kontesa на 14,1 ц/га при НСР₀₅ = 10,4. Наибольшая урожайность в среднем за годы проведения исследований (2016-2019 гг.) была отмечена у сорта Архат и Икар, превышение стандарта у которых составило 6,8 и 6,7 ц/га при НСР₀₅ = 6,4.

Наибольший сбор зерна дают максимально адаптированные к местным почвенно-климатическим условиям сорта. В сложившихся погодных условиях 2016-2019 гг. все сорта, показавшие высокие урожаи относительно сорта-стандарта, оказались более вариабельными по сравнению с сортом Симбирцит ($V = 11,9\%$).

Выделился сорт Лиза (Россия), у которого вариабельность составила 5,7 %. Наши исследования показали, что среднесортная урожайность яровой пшеницы в нашем опыте за годы изучения равнялась 37 ц/га зерна.

Для сравнения общей видовой адаптивной реакции брали среднесортную урожайность года. Перевод урожайности каждого из сортов к среднесортной в проценты позволил сравнить их поведение в разные годы [18]. По адаптивности большинство сортов были на уровне стандарта (0,61), кроме сортов Архат, Икар и Мерцана (Россия) с коэффициентом адаптивности на 0,1 выше сорта-стандарта (табл. 1).

Величина формируемого урожая яровой пшеницы складывается из основных элементов структуры урожайности: высоты растений, числа продуктивных стеблей, длины колоса, количества зёрен в колосе, массы зерна с колоса [19]. В результате анализа структуры урожайности (табл. 2) выделили сорта, превысившие сорт-стандарт: по продуктивной

Таблица 2 – Элементы продуктивности высокоурожайных сортов яровой мягкой пшеницы (2016-2019 гг.) /
 Table 2 – Elements of productivity in high-yielding varieties of spring soft wheat (2016-2019)

Сорт / Variety	Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pieces	Высота растений, см / Plant height, cm	Длина колоса, см / Length of the ear, cm	Кол-во зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pieces	Масса, г / Weight, g	
					зерна с колоса / grain in an ear	1000 зерен / 1000 grains
Симбирцит – ст. Simbircit – st.	1,3	75	8,2	28,9	1,42	49,3
Маргарита / Margarita	1,5	77	8,1	29,5	1,52	51,5
Архат / Arhat	1,7	83	8,5	35,4	1,63	45,7
Экада 113 / Ekada 113	1,5	83	7,6	35,0	1,63	46,6
Омская 41 / Omskaya 41	2,1	82	8,8	36,2	1,5	41,5
Екатерина / Ekaterina	1,7	73	7,9	37,8	1,43	38,2
Kontesa	1,7	61	7,9	30,7	1,34	43,7
Московская 35 / Moskovskaya 35	1,5	80	9,0	29,5	1,25	42,4
Йолдыз / Joldyz	1,6	79	8,3	34,3	1,56	46,2
Мерцана / Mercana	2,0	84	9,3	33,2	1,33	40,0
Ленинградка / Leningradka	1,4	74	8,2	33,7	1,22	36,2
Мутант остистый / Mutant ostistyj	1,7	80	9,4	32,1	1,35	42,0
Марбл / Marbl	1,3	66	8,3	33,5	1,36	40,7
Икар / Ikar	1,3	67	8,5	36,2	1,51	41,4
Binnu	2,0	57	6,8	24,5	0,93	38,0
Мис / Mis	1,5	73	10,0	34,9	1,39	39,6
Тайна / Tajna	1,4	68	8,5	30,9	1,15	37,5
Юлия / Yuliya	1,3	86	8,3	33,2	1,42	43,0
Лиза / Liza	1,5	57	7,4	35,2	1,29	39,4
Радуга / Raduga	1,8	81	9,7	32,3	1,39	43,4
Агата / Agata	1,3	76	8,3	38,8	1,22	30,7

кустистости на 53,8-61,5 % – Binni (Австралия), Мерцана и Омская 41 (Россия); высоте растений на 10,6-14,7 % – Экада 113, Мерцана и Юлия (Россия); длине колоса на 13,4-22 % – Мутант остистый (Беларусь), Радуга и Мис (Россия); количеству зерен в колосе на 25,3-34,3% – Икар, Екатерина и Агата (Россия); массе зерна с колоса на 14,8 % – Архат и Экада 113 (Россия); массе 1000 зерен на 4,5% – Маргарита (Россия).

При изучении сортов различных эколого-географических групп важно определить роль

отдельных элементов (высота стебля, количество зерен в колосе, масса зерна с растения и т. д.), выявить их вклад в урожайность зерна с единицы площади [20]. В связи с этим провели корреляционный анализ (табл. 3). У некоторых сортов получено достаточно высокое значение коэффициента корреляции ($R > 0,7$) между элементами продуктивности и урожайностью в рамках линейно-регрессионной модели, что указывает на наличие сильной взаимосвязи.

*Таблица 3 – Корреляционная зависимость урожайности от показателей продуктивности /
Table 3 – Correlation dependence of yield on productivity indicators*

Сорт / Variety	Продуктивная кустистость / Productive bushiness	Высота растений / Plant height	Длина колоса / Length of the ear	Кол-во зерен в колосе / Number of grains per ear	Масса / Weigh	
					зерна с колоса / grain in an ear	1000 зерен / 1000 grains
Симбирцит – ст. / Simbircit – st.	0,17	0,45	0,04	-0,23	0,27	0,64
Маргарита / Margarita	-0,47	0,46	-0,04	-0,45	0,56	0,51
Архат / Arhat	-0,10	0,46	-0,05	0,42	0,03	-0,51
Экада 113 / Ekada 113	-0,41	0,64	0,23	0,59	0,80	0,73
Омская 41 / Omskaya 41	-0,71	-0,87	0,25	0,35	0,23	-0,50
Екатерина / Ekaterina	0,13	0,62	-0,06	-0,37	0,67	0,80
Kontesa	0,46	-0,43	-0,56	-0,49	0,00	0,55
Московская 35 / Moskovskaya 35	-0,37	0,82	0,90	0,63	0,37	-0,06
Йолдыз / Joldyz	-0,88	-0,21	0,29	0,19	-0,52	-0,28
Мерцана / Mercana	0,47	-0,52	-0,60	-0,45	-0,61	-0,71
Ленинградка / Leningradka	-0,41	-0,85	-0,89	-0,48	-0,35	0,18
Мутант остистый / Mutant ostistyj	-0,09	-0,77	0,45	-0,46	-0,03	0,85
Марбл / Marbl	-0,63	-0,70	0,72	0,95	0,75	-0,22
Икар / Ikar	0,09	0,00	-0,22	-0,24	-0,32	-0,45
Binnu	0,94	0,74	0,39	0,65	0,23	-0,23
Мис / Mis	-0,45	0,58	0,26	-0,88	-0,88	-0,76
Тайна / Tajna	-0,24	0,89	0,62	0,60	0,20	-0,66
Юлия / Yuliya	-0,57	0,85	0,29	-0,25	-0,10	0,33
Лиза / Liza	-0,93	-0,88	0,87	-0,02	0,53	0,42
Радуга / Raduga	-0,27	0,26	-0,53	0,03	0,09	0,08
Агата / Agata	0,13	0,44	-0,71	0,11	0,95	0,34

Корреляционный анализ показал, что значительную роль в формировании урожайности у 9 сортов яровой мягкой пшеницы оказала высота растений (положительная взаимосвязь – Тайна, Юлия, Московская 35, Binnu; отрицательная – Марбл, Мутант ости-

стый, Ленинградка, Омская 41, Лиза), у 5 сортов – длина колоса (положительная – Московская 35, Лиза, Марбл; отрицательная – Агата, Ленинградка), у 2 сортов – число зёрен в колосе (положительная – Марбл; отрицательная – Мис), у 4 сортов – масса зерна с 1 колоса

(положительная – Агата, Экада 113, Марбл; отрицательная – Мис) и у 5 сортов – масса 1000 зерен (положительная – Мутант остистый, Екатерина, Экада 113; отрицательная – Мерцана, Мис). У двух сортов отмечено отсутствие взаимосвязи урожайности с высотой растений (сорт Икар) и массой зерна с колоса (сорт Kontesa).

Проведенный анализ показал степень влияния различных элементов продуктивности на формирование урожайности, что позволяет более целенаправленно проводить отбор в селекционном процессе. Включение в процесс гибридизации сортов с большей выраженностью указанных выше признаков будет способствовать повышению урожайности создаваемых сортов в южной части Волго-Вятского региона.

Заключение. По результатам исследований, проведенных в условиях южной части Волго-Вятского региона в коллекционном питомнике, установлена низкая пластичность

изученных сортов за счет сильной вариабельности урожайности. Два образца с высоким коэффициентом адаптивности показали превышение стандарта по урожайности: Архат на 18,2 %; Икар на 18,0 %. Лучшими показателями по элементам урожайности отмечены сорта: по продуктивной кустистости – Омская 41, Мерцана, Binni (2,0-2,1 шт.); по высоте растений – Юлия, Экада, Мерцана (85,88-83,35 см); по длине колоса – Мис, Радуга и Мутант остистый (10,0-9,3 см); по количеству зерен в колосе – Агата, Екатерина и Икар (38,8-36,2 шт.); по массе зерен в колосе – Архат, Экада 113 (1,63 г) и по массе 1000 зерен – сорт Маргарита (51,46).

Выделены сорта, имеющие сильную взаимосвязь урожайности с элементами ее структуры: высотой растений – 9 сортов, длиной колоса – 5 сортов, числом зерен в колосе – 2 сорта, массой зерна с 1 колоса – 4 сорта и массой 1000 зерен – 5 сортов.

Список литературы

1. Тимошенкова Т. А., Самуилов Ф. Д. Адаптивность разных экологических групп сортов ячменя и пшеницы мировой коллекции ВИР в степи Оренбургского Предуралья. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2012;4(26):120-125. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18372567>
2. Rani K., Singh V., Mor V.S., Dalal M.S., Niwas R. Phenological development, grain growth rate, seedling vigour and yield relationships in wheat cultivars under normal sown irrigated conditions / Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2018;6(7):3230-3238. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.380>
3. Villegas D., Alfaro C., Amar K., Catedra M.M., Crossa J., Garcia del Moral, Royo C. Daylength, Temperature and Solar Radiation Effects on the Phenology and Yield Formation of Spring Durum Wheat / J Agro Crop Sci. 2016;202:203-216. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12146>
4. Лепехов С. Б., Воротынцева М. В., Ерещенко Д. В. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Алтайского края. Вестник АГАУ. 2019;7(177):10-15. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ishodnyy-material-dlya-selektcii-yarovoy-myagkoy-pshenitsy-v-usloviyah-altayskogo-kрая>
5. Пискарев В. В., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Новосибирской области. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;7(22):784-794. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.422>
6. Григорьев Ю. П., Белан И. А. Влияние элементов структуры урожая на урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях подтаёжной зоны Омской области. Аграрная Россия. 2019;5:3-6. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-5-3-6>
7. Ivanova I., Ilina S. Variability of morphological features of spring soft wheat Moskovskaya 35. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;433 012016. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/433/1/012016>
8. Репко Н. В., Рудяга Е. С., Сулим А. П., Назаренко Л. В., Подоляк К. В. Сравнительная оценка сортов озимой пшеницы австрийской селекции в условиях центральной зоны Краснодарского края. Научный журнал КубГАУ. 2013;91:1-10. Режим доступа: <file:///C:/Users/Инга/Downloads/sravnitel'naya-otsenka-sortov-ozimoy-pshenits-avstriyskoy-selektcii-v-usloviyah-tsentralnoy-zon-krasnodarskogo-kрая.pdf>
9. Подлесных Н. В. Особенности прохождения этапов органогенеза, фаз роста и развития, урожайность и качество озимой твердой и мягкой пшеницы в условиях лесостепи Воронежской области. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015;3:12-22. Режим доступа: <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2015/10/12-22.pdf>
10. Ануарбек Ш. Н., Абуғалиева С. И., Чудинов В. А., Тубероза Р., Пекчиони Н., Турусбек Е. К. Сравнительная оценка компонентов урожайности тетраплоидной пшеницы мировой коллекции. Евразийский экологический журнал. 2019;2(59):39-49. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/335203378>
11. Кузнецова А. С., Куркова И. В. Изучение ярового ячменя коллекции ВИР в условиях Амурской области. Биотика. 2014;1(1):14-19. Режим доступа: https://journal-biotika.com/current-issues/issue_2014_01.pdf#page=12

12. Волкова Л. В. Наследуемость и изменчивость признаков продуктивности у гибридов яровой мягкой пшеницы первого-четвертого поколений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(3):207-218. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.207-218>
13. Uspenskaja, V. & Bekish, L. & Chikida, N. Sources of economically valuable traits for winter triticales breeding in the northwest of the Russian Federation. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2018;179:85-94. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-85-94>
14. Волкова Л. В. Исходный материал для селекции сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Кировской области. Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2016;(2):7-16. Режим доступа: <https://vestnngau.elpub.ru/jour/article/view/320>
15. Антонов В. Г., Ермолаев А. П. Эффективность длительного применения минимальных способов обработки почвы в севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;4(65):87-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>
16. Иванова И. Ю., Ильина С. В. Ценные для селекции образцы яровой мягкой пшеницы. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2018;3(15): 32-36. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-3-32-36>
17. Иванова И. Ю., Волкова Л. В. Изменчивость хозяйственно ценных признаков яровой пшеницы и их вклад в стабилизацию урожайности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;6(20):567-574. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.567-574>
18. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Оценка адаптивного потенциала перспективных сортов яровой мягкой пшеницы. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019;10-1:145-149. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11624>
19. Gonzalez A. S., Sivakumar S., Gemma M., Matthew R., Alma R.-A., Francisco P.-C., Ryan J., Anthony H., Michael F. Genetic analysis of partitioning traits to increase yield, grain number and harvest index in a high biomass spring wheat panel. 2019. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17999.33447>
20. Марченко Д. М. Взаимосвязи между урожайностью и элементами ее структуры у сортов мягкой озимой пшеницы. Научный журнал КубГАУ. 2011;68:1-12. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyazi-mezhdu-urozhaynostyu-i-elementami-ee-struktury-u-sortov-myagkoy-ozimoy-pshenitsy>

References

1. Timoshenkova T. A., Samuilov F. D. *Adaptivnost' raznykh ekologicheskikh grupp sortov yachmenya i pshenitsy mirovoy kolleksii VIR v stepi Orenburgskogo Predural'ya*. [Adaptability of different ecological groups of barley and wheat varieties in the VIR world collection in the steppe of the Orenburg Urals]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2012;4(26):120-125. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18372567>
2. Rani K., Singh V., Mor V. S., Dalal M. S., Niwas R. Phenological development, grain growth rate, seedling vigour and yield relationships in wheat cultivars under normal sown irrigated conditions. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2018;7(6):3230-3238. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.706.380>
3. Villegas D., Alfaro C., Amar K., Catedra M. M., Crossa J., Garcia del Moral, Royo C. Daylength, Temperature and Solar Radiation Effects on the Phenology and Yield Formation of Spring Durum Wheat. *J. Agro Crop Sci.* 2016;202:203-216. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12146>
4. Lepekhov S. B., Vorotyntseva M. V., Ereshchenko D. V. *Iskhodnyy material dlya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Altayskogo kraya*. [Source material for selection of spring soft wheat in the conditions of the Altai territory]. *Vestnik AGAU*. 2019;7(177):10-15. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ishodnyy-material-dlya-seleksii-yarovoy-myagkoy-pshenitsy-v-usloviyakh-altayskogo-kрая>
5. Piskarev V. V., Zuev E. V., Brykova A. N. *Iskhodnyy material dlya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Novosibirskoy oblasti*. [Source material for selection of spring soft wheat in the conditions of the Novosibirsk region]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;7(22):784-794. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.422>
6. Grigor'ev Yu. P., Belan I. A. *Vliyanie elementov struktury urozhaya na urozhaynost' sortov yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh podtaezhnoy zony Omskoy oblasti*. [Influence of crop structure elements on the yield of spring soft wheat varieties in the conditions of the sub-taiga zone of the Omsk region]. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2019;5:3-6. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-5-3-6>
7. Ivanova I., Ilina S. Variability of morphological features of spring soft wheat Moskovskaya 35. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;433 012016. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/433/1/012016>
8. Repko N. V., Rudyaga E. S., Sulim A. P., Nazarenko L. V., Podolyak K. V. *Sravnitel'naya otsenka sortov ozimoy pshenitsy avstriyskoy seleksii v usloviyakh tsentral'noy zony Krasnodarskogo kraya*. [Comparative evaluation of winter wheat varieties of the Austrian selection in the conditions of the Central zone of the Krasnodar territory]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* = Scientific Journal of KubSAU. 2013;(91):1073-1084. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20678937>

9. Podlesnykh N. V. *Osobennosti prokhozheniya etapov organogeneza, faz rosta i razvitiya, urozhaynost' i kachestvo ozimoy tverдой i myagkoy pshenitsy v usloviyakh lesostepi Voronezhskoy oblasti*. [Features of the stages of organogenesis, growth and development phases, productivity and quality of winter hard and soft wheat in the conditions of the forest-steppe of the Voronezh region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;3:12-22. (In Russ.). URL: <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2015/10/12-22.pdf>
10. Anuarbek Sh. N., Abugaliyeva S. I., Chudinov V. A., Tuberoza R., Pekhioni N., Turuspek E. K. *Sravnitel'naya otsenka komponentov urozhaynosti tetraploidnoy pshenitsy mirovoy kolleksii*. [Comparative evaluation of the yield components of tetraploid wheat of the world collection]. *Evrasiyskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2019;2(59):39-49. URL: <https://www.researchgate.net/publication/335203378>
11. Kuznetsova A. S., Kurkova I. V. *Izuchenie yarovogo yachmenya kol-lektsii VIR v usloviyakh Amurskoy oblasti*. [The Study of spring barley Kollektures VIR in the conditions of the Amur region]. *Biotika*. 2014;1(1):14-19. (In Russ.). URL: https://journal-biotika.com/current-issues/issue_2014_01.pdf#page=12
12. Volkova L. V. *Nasleduemost' i izmenchivost' priznakov produktivnosti u gibridov yarovoy myagkoy pshenitsy pervogo-chetvertogo pokoleniy*. [Heritability and variability of productivity traits in hybrids of spring soft wheat of the first-fourth generations]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(3):207-218. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.207-218>
13. Uspenskaya V. A., Bekish L. P., Chikida N. N. *Istochniki khozyayst-venno tsennyykh priznakov dlya selektsii ozimoy tritikale na Severo-Zapade RF*. [Sources of economically valuable traits for winter triticale breeding in the northwest of the Russian Federation]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):85-94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-85-94>
14. Volkova L. V. *Iskhodnyy material dlya selektsii sortov yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Kirovskoy oblasti*. [Source material for selection of spring soft wheat varieties in the conditions of the Kirov region]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2016;(2):7-16. (In Russ.). URL: <https://vestngau.elpub.ru/jour/article/view/320>
15. Antonov V. G., Ermolaev A. P. *Effektivnost' dlitel'nogo primeneniya minimal'nykh sposobov obrabotki pochvy v sevooborotakh*. [Effectiveness of long-term application of minimal methods of soil treatment in crop rotations]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>
16. Ivanova I. Yu., Il'ina S. V. *Tsennye dlya selektsii obraztsy yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Valuable for breeding samples of spring soft wheat]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki» = Vestnik of the Mari State University. «Chapter Agriculture. Economics»*. 2018;4(3): 32-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-3-32-36>
17. Ivanova I. Yu., Volkova L. V. *Izmenchivost' khozyaystvenno tsen-nykh priznakov yarovoy pshenitsy i ikh vklad v stabilizatsiyu urozhaynost'*. [Variability of economically valuable traits of spring wheat and their contribution to crop stabilization]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;6(20):567-574. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.567-574>
18. Kincharov A. I., Demina E. A., Taranova T. Yu., Mullayanova O. S., Chekmasova K. Yu. *Otsenka adaptivnogo potentsiala perspektivnykh sortov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Assessment of the adaptive potential of promising varieties of spring soft wheat]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2019;10-1:145-149. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11624>
19. Gonzalez A. S., Sivakumar S., Gemma M., Matthew R., Alma R.-A., Francisco P.-C., Ryan J., Anthony H., Michael F. *Genetic analysis of partitioning traits to increase yield, grain number and harvest index in a high biomass spring wheat panel*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17999.33447>
20. Marchenko D. M. *Vzaimosvyazi mezhdu urozhaynost'yu i elementami ee struktury u sortov myagkoy ozimoy pshenitsy*. [Relationship between yield and elements of its structure in varieties of soft winter wheat]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*. 2011;68:1-12. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyazi-mezhdu-urozhaynostyu-i-elementami-ee-struktury-u-sortov-myagkoy-ozimoy-pshenitsy>

Сведения об авторах

✉ **Иванова Инга Юрьевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1721>

Information about the authors

✉ **Inga Yu. Ivanova**, PhD in Agricultural science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsvil'skiy district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1721>, e-mail: m35y24@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Реакция пигментного комплекса листьев клевера лугового на погодные условия и элементы минерального питания

© 2020. И. В. Лыскова, Е. М. Лисицын✉, Т. В. Лыскова

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

В полевых исследованиях 2018...2019 гг. оценивали влияние макроэлементов минерального питания и условий года на пигментный комплекс листьев клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) сорта Дымковский. Опыт проводили в зернопаротравяном севообороте в условиях Кировской области. Пробы листьев (полностью развитые второй-третий лист сверху) отбирали в фазу цветения, в лабораторных условиях спектрофотометрически определяли содержание хлорофиллов и каротиноидов. Выявлено, что содержание пигментов в листьях клевера лугового в наибольшей степени зависело от погодных условий года выращивания. Концентрация зеленых пигментов (Chl a+b) в листьях клевера находилась в диапазоне 15,34...19,05 в условиях более теплого и сухого 2018 года и 11,47...14,10 мг/г сухой массы листа в более прохладном и влажном 2019 году. На Chl a приходилось 9,64...11,36 и 6,67...7,98 мг/г (2018 и 2019 гг. соответственно). Более холодные условия способствовали повышению доли Chl a, ассоциированного со светособирающими комплексами (с 69...78 до 89...96 %). Массовое содержание каротиноидов составило 2,69...3,12 и 1,52...1,88 мг/г в 2018 и 2019 гг. соответственно и коррелировало с содержанием суммарного хлорофилла ($r = 0,53...0,82$). Величины массового соотношения хлорофиллов a/b (1,54...1,75 в 2018 г. и 1,18...1,47 в 2019 г.) указывают на недостаток солнечной инсоляции в условиях взаимозатенения листьев сформировавшегося фитоценоза. Однако массовое соотношение суммы хлорофиллов и каротиноидов (5,7...6,7 в 2018 г. и 6,86...9,65 в 2019 г.) дает основание считать, что данный абиотический фактор не привел к нарушениям структуры фотосинтетического аппарата листьев. Погодные условия значительно модифицировали влияние удобрений на синтез пигментов: в 2018 году азотные удобрения снижали содержание хлорофиллов на 11...22 %, полное минеральное удобрение на кислом почвенном фоне приводило к снижению содержания пигментов на 6,7...11,7 %. В более прохладных условиях 2019 года азотные удобрения не влияли на содержание пигментов, полное минеральное удобрение повысило содержание Chl a на 14,1...17,8 %, каротиноидов – на 18,2...25,4 %. В условиях 2019 г. содержание Chl a значимо зависело от содержания азота в листьях ($r = 0,52...0,92$) и коррелировало с уровнем фосфора в почве: для Chl a – $r = 0,74$ и $0,54$, для Chl b – $r = 0,73$ и $0,75$ (кислый почвенный фон и фона с внесением извести соответственно).

Ключевые слова: хлорофилл, каротиноиды, фосфор, азот, известкование, дерново-подзолистая почва, последствие

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (темы №0528-2019-0100 и № 0528-2019-0093).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В., Лисицын Е. М., Лыскова Т. В. Реакция пигментного комплекса листьев клевера лугового на погодные условия и элементы минерального питания. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):387-396. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.387-396>

Поступила: 10.03.2020

Принята к публикации: 23.06.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Reaction of pigment complex in meadow clover leaves to weather conditions and macronutrients

© 2020. Irina V. Lyskova, Evgeniy M. Lisitsyn✉, Tatiana V. Lyskova

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

In the field studies of 2018...2019, the influence of macronutrients and weather conditions on pigment complex of leaves of meadow clover (*Trifolium pratense* L.) Dymkovsky variety was assessed. The study was carried out in grain-fallow-grass crop rotation in the conditions of Kirov region. Leaf samples (fully developed second or third leaf from above) were taken in the flowering phase, and the chlorophyll and carotenoids content were measured spectrophotometrically under laboratory conditions. It has been found that the content of pigments in the leaves of meadow clover depended mostly on weather conditions of the year of cultivation. The concentration of green pigments (Chl a+b) in clover leaves was in the range of 15.34...19.05 in the conditions of warmer and dry 2018 and 11.47...14.10 mg/g dry matter in colder and humid year of 2019. Chl a accounted for 9.64...11.36 and 6.67...7.98 mg/g (2018 and 2019, respectively). Colder conditions promoted an increase in the ratio of Chl a associated with light-harvesting complexes (from 69...78 up to 89...96 %). Weight content of carotenoids was 2.69...3.12 and 1.52...1.88 mg/g in 2018 and 2019, respectively, and correlated with the content of a total chlorophyll ($r = 0.53...0.82$). The weight ratio of chlorophylls a/b (1.54... 1.75 in 2018 and 1.18... 1.47 in 2019) indicates a lack of insolation in the conditions of mutually shading of leaves of the created phytocenosis. However, the weight ratio of the sum of chlorophylls to carotenoids (5.7... 6.7 in 2018 and 6.86... 9.65 in 2019) suggests that this abiotic factor has not led to disorders

in the structure of the photosynthetic leaf apparatus. Weather conditions considerably modified influence of fertilizers on pigment synthesis: in 2018, nitrogen fertilizers reduced the content of chlorophylls by 11...22 %, full mineral fertilizer on acid soil background led to decrease in the content of pigments by 6.7...11.7 %. In colder conditions of 2019 nitrogen fertilizers did not influence the content of pigments, full mineral fertilizer increased the content of Chl a by 14.1...17.8 %, carotenoids – by 18.2...25.4 %. In the conditions of 2019 the content of Chl a significantly depended on nitrogen content in leaves ($r = 0.52...0.92$) and correlated with phosphorus level in the soil: for Chl a – $r = 0.74$ and 0.54 , for Chl b $r = 0.73$ and 0.75 (acid soil background and soil background with lime application, respectively).

Keywords: chlorophyll, carotenoids, fertilizers, phosphorus, nitrogen, lime application, sod-podzolic soil, aftereffect

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0100 and No. 0528-2019-0093).

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: Lyskova I. V., Lisitsyn E. M., Lyskova T. V. Reaction of pigment complex in meadow clover leaves to weather conditions and macronutrients. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4): 387-396. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.387-396>

Received: 10.03.2020

Accepted for publication: 23.06.2020

Published online: 24.08.2020

Растущая обеспокоенность негативными побочными эффектами современного сельского хозяйства стимулировала необходимость поиска новых агрономических решений для улучшения экологического профиля агросистем [1, 2]. В этой связи повышается роль покровных культур, которые могут повысить урожайность, а также снизить воздействие на окружающую среду в сельскохозяйственных системах [1, 3]. Кроме того, они способны значительно модифицировать почвенные условия: уменьшить степень уплотнения и эрозии [1]; повысить пористость [4]; улучшить способность к удержанию и ремобилизации питательных веществ [5]; обогатить почву органическим веществом, особенно в случае видов бобовых [6]; повысить доступность фосфора растениям [7]. Однако эти полезные функции требуют знания о пригодности данного вида к различным агроэкологическим условиям с уделением особого внимания изменениям, происходящим в свойствах почвы [8]. Поэтому понимание факторов, которые регулируют продуктивность покровных культур в условиях действия различных стрессоров среды выращивания, является необходимой задачей современного сельского хозяйства.

Основой продуктивности растений является работа фотосинтетического аппарата листьев. Хлорофиллы и каротиноиды – его важнейшие компоненты. Из кормовых культур наиболее богаты хлорофиллом и каротиноидами бобовые. Среди них выделяется клевер красный, листья которого значительно превосходят по содержанию хлорофилла такие бобовые культуры, как люпин, соя, фасоль [9].

Количество пигментов изменяется при адаптации к условиям среды и под влиянием различных стрессоров, т. е. отражает реакцию растения на условия произрастания [10, 11, 12]. Ранние структурные изменения происходят в хлоропластах листьев, испытывающих различные абиотические стрессы [13, 14]. В условиях дерново-подзолистых почв главным стрессовым эдафическим фактором является высокое содержание подвижных ионов алюминия. Например, в условиях Фалёнской селекционной станции содержание алюминия в верхних горизонтах естественных почв достигает величин 250-300 мг/кг почвы [15]. В подобных условиях особое значение приобретает доступность растениям такого элемента питания, как фосфор. Фосфатный фонд в пахотном слое представлен, в основном, фосфатами железа – 72 %, высокоосновными фосфатами кальция – 11 % и алюминия – 10 %, которые занимают в сумме минеральных фосфатов 93 % [15]. Ранее нами было установлено, что ежегодное внесение суперфосфата в дозе 50 кг/га обеспечивало содержание подвижного фосфора по нижней оптимальной границе (не менее 100 мг/кг почвы). Внесение суперфосфата в дозах 100, 150, 200 кг/га (ежегодно) обеспечило содержание подвижного фосфора на почвенном фоне с внесением извести от 222 до 376 мг/кг, на естественном кислом почвенном фоне – от 191 до 285 мг/кг [15].

Цель исследований – оценить относительную степень влияния макроэлементов минерального питания и погодных условий года на качественный и количественный состав пигментного комплекса листьев клевера лугового (*Trifolium pratense* L.).

Материал и методы. Исследования проведены на растениях клевера лугового сорта Дымковский в условиях длительного стационарного опыта, заложенного в 1971 г. на Фалёнской селекционной станции (восточный агроклиматический район центральной зоны Кировской области). Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на покровных суглинках. Опыт проводили в зернопаротравяном севообороте: чистый пар, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 года пользования (г. п.), клевер 2 г. п., яровая пшеница, овёс. Общая площадь делянки 40,25 м², повторность четырехкратная. Для изучения реакции растений на условия почвенного питания опыт был заложен на двух почвенных фонах – естественный кислый фон, pH 3,68, и фон с внесением извести по 1 гидролитической кислотности, pH 5,60. На обоих почвенных фонах в 2008...2014 гг. удобрения вносили по следующей схеме: 1. Контроль (без удобрений). 2. N90. 3. N90P50K90. 4. N90P100K90. 5. N90P150K90. 6. N90P200K90. В 2015...2019 гг. использовали следующую схему внесения удобрений: 1. Контроль (без удобрений). 2. N90. 3-6. N90P50K90. Варианты 3-6 отличались между собой содержанием подвижного фосфора в почве. В 2009 г. проведено повторное известкование фона по 1 г. к.

Для оценки состояния пигментного комплекса в фазу цветения отбирали пробы листьев (30 полностью сформированных листьев, 2-3-й лист сверху) с двадцати индивидуальных

растений на обоих вариантах почвенных фонов в 6-кратной повторности. В лабораторных условиях на спектрофотометре "UVmini-1240" производства SHIMADZU Corporation (Japan) в трехкратной аналитической повторности при длинах волн 470, 644,8 и 661,6 нм определяли содержание зеленых и желтых пигментов, извлекаемых 100 %-ным ацетоном согласно методике [16], после чего по той же методике рассчитывали содержание хлорофиллов *a* и *b* (*Chl a*, *Chl b*) и каротиноидов (*Car*) на единицу сухой массы листа. Содержание пигментов, приходящихся на светособирающие комплексы, рассчитывали по формуле [17]:

$$[(1,2 \text{ Chl } b + \text{ Chl } a) / (\text{ Chl } a + \text{ Chl } b)].$$

Известно, что складывающиеся погодные условия периода вегетации оказывают прямое влияние на физиологические процессы роста и развития растений. Поскольку образцы отбирали во второй половине июня, на накопление пигментов к этому сроку могли повлиять метеоусловия мая и, в основном, июня. По данным метеопоста Фаленской селекционной станции, в июне 2018 г. отмечали неустойчивую погоду – от холодной с частыми осадками до сухой и жаркой (табл. 1). Первая половина месяца была холоднее: сумма эффективных температур составила 457,2 °С, что на 54 °С ниже средней многолетней. Количество осадков было близко к среднему многолетнему показателю. Однако из-за частых дождей во второй декаде отмечали переувлажнение почвы.

Таблица 1 – Метеорологические условия периода вегетации, п. Фалёнки /

Table 1 – Meteorological conditions of growing period, s. Falenki

Месяц / Month	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C					Осадки, мм / Precipitations, mm				
	по декадам / by ten-day periods			за месяц / per month	± к норме / ± to norm	по декадам / by ten-day periods			за месяц / per month	% к норме / % to norm
	I	II	III			I	II	III		
2018 г.										
Май / May	7,4	13,7	10,8	10,6	+0,3	14	10	34	58	125
Июнь / June	8,5	13,4	20,5	14,1	-1,9	45	28	5	78	118
2019 г.										
Май / May	14,1	13,5	12,1	13,2	+2,9	6	10	17	33	71
Июнь / June	15,3	13,9	16,0	15,1	-0,9	66,4	10,1	32	108,5	164

Летний период 2019 г. характеризовался влажной погодой при недостатке тепла: в июне выпало 164 % от нормы осадков (в 4 раза больше в первую декаду) при температуре воздуха на 1 °С ниже климатической нормы.

В июне наблюдали неустойчивую, преимущественно сухую погоду, а небольшой дефицит тепла и избыток осадков благоприятно сказались на формировании листового аппарата растений.

Гидротермический коэффициент в 2018 г. составил для мая 1,90, для июня – 1,45. Для вегетации 2019 г. аналогичные показатели равнялись 0,73 и 2,51 соответственно.

Статистическая обработка данных проведена методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализов с использованием пакета селекционно-ориентированных статистических программ AGROS 2.07 и табличного редактора Microsoft Office Excel 2016. В таблицах представлены средние арифметические значения величин с указанием ошибки среднего. Статистическая значимость различий между вариантами опыта и долей влияния факторов на изучаемые показатели рассчитывалась при уровне $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Согласно полученным данным концентрация зеленых пигментов (*Chl a+b*) в листьях клевера в 2018 г. находилась в диапазоне 15,34...19,05 мг/г сухой массы листа (табл. 2), из них 9,64...11,36 мг/г приходилось на *Chl a*. Массовое соотношение *Chl a/b* находилось в пределах 1,54...1,75, указывая на недостаток освещенности листьев при их взаимозатенении в условиях сформировавшегося ценоза (анализировали 2-3-й листья сверху) и, как результат, усиление роли фотосистемы II в работе фотосинтетического аппарата листьев. При этом содержание *Chl a* в ССК (светособирающий комплекс) составляло 69...78 % от его общего содержания в хлоропластах.

Таблица 2 – Параметры развития пигментного комплекса листьев клевера лугового (мг/г сухой массы листа), 2018 г. /

Table 2 – Parameters of development of pigment complex in red clover leaves (mg/g of dry matter), 2018

Доза, кг/га / Dose, kg/ha		Содержание азота в листьях, % / Content of N in leaves, %	Chl a	Chl b	Car
фосфор / phosphorus	минеральные удобрения / mineral fertilizers				
Без извести / No lime application					
P0	-	2,85±0,28	11,90±0,53	7,15±0,35	3,12±0,09
P0	N90	2,64±0,04	10,60±0,40	6,36±0,23	2,78±0,12
P50	N90P50K90	2,83±0,28	11,07±0,16	6,38±0,09	2,98±0,09
P100	N90P50K90	2,95±0,07	10,44±0,29	5,98±0,16	2,86±0,07
P150	N90P50K90	2,69±0,11	10,97±0,87	7,14±0,67	2,74±0,22
P200	N90P50K90	2,80±0,24	10,80±0,25	6,31±0,20	2,91±0,10
Известь по 1 Нг / Lime application according to 1 unit of hydrolytic acidity					
P0	-	3,08±0,01	11,36±0,79	7,31±0,52	2,80±0,16
P0	N90	3,12±0,16	9,64±0,36	5,70±0,35	2,69±0,05
P50	N90P50K90	3,25±0,34	11,34±0,47	6,97±0,35	2,93±0,13
P100	N90P50K90	3,39±0,13	10,57±0,38	6,58±0,38	2,82±0,05
P150	N90P50K90	3,30±0,24	10,21±0,27	6,39±0,18	2,62±0,12
P200	N90P50K90	2,97±0,10	10,22±0,45	6,43±0,31	2,67±0,14

Содержание каротиноидов статистически значимо ($p \leq 0,05$) коррелировало с содержанием суммарного хлорофилла ($r = 0,82$), массовое содержание каротиноидов составило 2,69...3,12 мг/г. Величина массового соотношения *Chl/Car* составила 5,7...6,7.

В условиях естественной кислой почвы (неизвесткованный почвенный фон, pH 3,68) одностороннее внесение азота (вариант P0 +

N90) привело к снижению содержания пигментов на 11 % по сравнению с контролем (P0). Внесение полного минерального удобрения (остальные варианты опыта) привело к снижению содержания *Chl a* на 8,9 %, *Chl b* – на 11,7 %, каротиноидов – на 6,7 %. Известкование привело к повышению pH почвенного раствора до 5,60. В этих условиях значительно усилилось негативное влияние внесения толь-

ко азотных удобрений: содержание *Chl a* снизилось относительно варианта P0 на 15,2 %, *Chl b* – на 22,1 %. Внесение полного минерального удобрения сделало отличия в содержании пигментов от варианта P0 статистически незначимыми при $p \leq 0,05$. Следует отметить, что на обоих почвенных фонах (рН 3,68 и 5,60) не отмечено статистически значимой взаимосвязи содержания в листьях азота и всех изученных пигментов, а также связи содержания азота в листьях от содержания фосфора в почве.

В условиях 2018 года не отмечено статистически значимых корреляций между содержанием фосфора в почве и пигментов в листьях клевера: соответствующие величины составили для *Chl a* -0,146 и -0,286; для *Chl b* -0,257 и -0,275; для каротиноидов -0,298 и -0,305 при критическом значении 0,497 (при $p \leq 0,05$).

Данные двухфакторного дисперсионного анализа, включающего факторы "известкование" и "доза фосфора", показали отсутствие статистически значимого эффекта последствия известкования (внесения кальция) и повышения дозы внесенного фосфора (варианты 3-6) на изучаемые параметры. С другой

стороны, двухфакторный дисперсионный анализ, учитывающий факторы "известкование" и "внесение в почву различных макроэлементов" (вариант 1 – без внесения удобрений; вариант 2 – внесение азота; усредненные варианты 3-6 – внесение фосфора), показал, что внесение макроэлементов статистически значимо при $p \leq 0,05$ объясняет до 23,3 % изменчивости содержания *Chl a* и 26,9 % вариативности содержания *Chl b*. В отличие от зеленых пигментов, содержание каротиноидов в 2018 г. значимо зависело от внесения кальция (известкования), его действие объясняет 12,5 % вариативности этого показателя. Остальные факторы минерального питания – внесение азота или полного удобрения – не оказывали влияния на накопление каротиноидов.

Анализ пигментного комплекса листьев клевера лугового в 2019 году (табл. 3) показал, что содержание всех пигментов было меньше, чем в 2018 г., что может быть объяснено снижением скорости биосинтеза хлорофиллов в условиях продолжительного действия пониженных температур воздуха (ниже 15 °C) в июне 2019 года.

Таблица 3 – Параметры развития пигментного комплекса листьев клевера лугового (мг/г сухой массы листа), 2019 г. /

Table 3 – Parameters of development of pigment complex in red clover leaves (mg/g of dry matter), 2019

Доза, кг/га / Dose, kg/ha		Содержание азота в листьях, % / Content of N in leaves, %	Chl a	Chl b	Car
фосфор / phosphorus	минеральные удобрения / mineral fertilizers				
Без извести / No lime application					
P0	-	1,88±0,07	6,67±0,35	4,98±0,21	1,59±0,13
P0	N90	2,00±0,13	6,98±0,37	5,15±0,39	1,62±0,08
P50	N90P50K90	2,46±0,14	7,86±0,22	5,53±0,35	1,88±0,12
P100	N90P50K90	2,37±0,16	7,92±0,28	6,12±0,38	1,77±0,10
P150	N90P50K90	2,34±0,26	7,98±0,32	5,94±0,18	1,82±0,12
P200	N90P50K90	2,28±0,25	7,75±0,22	6,35±0,18	1,64±0,09
Известь по 1 Нг / Lime application according to 1 unit of hydrolytic acidity					
P0	-	1,98±0,09	6,70±0,26	4,77±0,07	1,67±0,12
P0	N90	2,08±0,21	7,15±0,18	4,90±0,21	1,76±0,03
P50	N90P50K90	2,44±0,07	7,76±0,17	5,71±0,11	1,80±0,08
P100	N90P50K90	2,10±0,18	7,47±0,36	6,31±0,31	1,52±0,11
P150	N90P50K90	2,31±0,23	7,65±0,23	5,98±0,37	1,68±0,06
P200	N90P50K90	2,53±0,04	7,77±0,16	5,70±0,14	1,83±0,03

Суммарное содержание хлорофиллов находилось в диапазоне 11,47...14,10 мг/г сухой массы листа. Содержание *Chl a* также было ниже (6,67...7,98 мг/г), но его доля, содержащаяся в ССК, повысилась до 89...96 %. Соотношение *Chl a/b* находилось в пределах 1,18...1,47, что характерно для высокой степени взаимозатенения листьев в условиях сформировавшегося к фазе цветения фитоценоза. Пропорционально снижению содержания хлорофиллов снизилось и содержание каротиноидов, варьируя от 1,52 до 1,88 мг/г. Связь содержания каротиноидов с содержанием хлорофилла статистически значима ($r = 0,538...0,721$). Массовое соотношение *Chl/Car* составило 6,86...9,65. В 2019 г. проявилась статистически значимая корреляционная связь содержания суммарного хлорофилла и азота в листьях ($r = 0,53$). Среднее количество зеленых пигментов на кислом фоне немного выше, чем на произвесткованном (13,21 и 12,98 мг/г соответственно).

Действие азотных удобрений (без известкования и внесения фосфора) не повлияло на содержание пигментов, а действие полного минерального удобрения в условиях кислого почвенного фона повысило содержание *Chl a* на 17,8 %, каротиноидов – на 18,2 %. Проведение известкования несколько снизило эффект полного минерального удобрения на содержание *Chl a* (повышение составило 14,1 %), усилив эффект на содержание каротиноидов (повышение на 25,4 %). Во всех случаях значимых изменений содержания *Chl b* не отмечено.

В условиях 2019 г. проявилась статистически значимая связь содержания *Chl a* и азота в листьях ($r = 0,92$ и $0,52$ для естественной кислой почвы и почвенного фона с внесением извести соответственно). В условиях естественной кислой почвы проявилась связь содержания азота и *Chl b* ($r = 0,78$ при $p \leq 0,05$). Связь содержания пигментов в листьях и фосфора в почве также была статистически значимой на обоих почвенных фонах как для *Chl a* ($r = 0,74$ и $0,54$ для естественной кислой почвы и почвенного фона с внесением извести соответственно), так и для *Chl b* ($r = 0,73$ и $0,75$ при $p \leq 0,05$).

Данные проведенного двухфакторного дисперсионного анализа (факторы "известкование" и "внесение в почву различных макроэлементов") показали статистически значимые влияния обоих факторов на содержание *Chl a*:

первый фактор объясняет 21,0 % изменчивости содержания пигмента, второй – 33,3 %. Взаимодействия факторов не наблюдалось. На вариабельность содержания *Chl b* повлияло только действие минеральных удобрений (доля влияния этого фактора составила 24,9 %). Содержание каротиноидов не отличалось статистически для образцов, взятых во всех изучаемых вариантах опыта.

В целом для двух лет исследования, расчет степени влияния изучаемых факторов был проведен в два этапа. На первом этапе оценивали только варианты 3-6, т.е. были взяты в расчет факторы – год, известкование, дозы фосфора. Такое формирование матрицы анализа показало статистически значимое влияние только фактора "год" (суммирующего влияние температуры воздуха, количества осадков и других метеорологических явлений). Доля влияния этого фактора на изменчивость содержания *Chl a* составила 74,2 %, *Chl b* – 12,3 % и *Car* – 79,6 %.

Поскольку влияние дозы фосфора было статистически незначимо, для второго этапа расчетов данные по вариантам 3-6 были усреднены в один вариант "фосфор". В расчет взяли три фактора: год, известкование и элементы минерального питания (вариант 1 – без удобрений, вариант 2 – внесение азота, усредненные варианты 3-6 – внесение полного минерального удобрения). При таком подходе выяснилось, что вариабельность содержания каротиноидов на 84,3 % объясняется влиянием условий года; вариабельность содержания *Chl a* на 71,8% объясняется влиянием условий года и на 2,1 % – действием макроэлементов минерального питания. На содержание *Chl b* практически в равной доле влияли условия года (8,6 %) и внесение макроэлементов (6,5 %). Для всех трех пигментов отсутствовало статистически значимое влияние известкования.

Хорошо известно, что растения адаптируются к условиям выращивания корректируя свой метаболизм, в частности, изменяя качественный и количественный состав пигментного комплекса листьев. Значимые отличия в содержании пигментов в листьях клевера в 2018 и 2019 годах в нашем исследовании скорее всего определялись погодными условиями. Известно, что оптимальной температурой для синтеза хлорофилла считается 30 °C [18]. Пониженные температуры (ниже 15 °C) явля-

ются причиной нарушения световых реакций фотосинтеза [19], особенно в условиях длительного воздействия таких условий на растения [20]. Если же температуры падают ниже 10 °C, растения проявляют типичные симптомы окислительного стресса [21, 22]. По данным метеопоста Фаленской селекционной станции, количество дней в июне со среднесуточной температурой воздуха ниже 15 °C составило в 2018 году 8 дней, в 2019 – 18 дней, причем во второй половине месяца таких дней было соответственно 0 и 10. Однако даже в условиях июня 2019 года температура воздуха не опускалась ниже 10 °C, что, вероятно, с одной стороны, привело к снижению скорости синтеза хлорофиллов и каротиноидов (табл. 2, 3), но при этом структурных нарушений фотосинтетического аппарата не наблюдалось. Это также доказывает и практическое совпадение массовых соотношений зеленых и желтых пигментов в листьях клевера, полученных в нашем исследовании: в условиях 2018 года величина массового соотношения *Chl/Car* составила 5,7...6,7, в 2019 году немного выше – 6,8...9,6. По мнению [16, 23] и многих других исследователей, соотношение *Chl/Car* является хорошим индикатором нарушений пигментного аппарата растений под действием стрессовых факторов различной природы. Вывод о преимущественном влиянии погодных условий на состояние пигментного комплекса листьев клевера также подтверждается нашими данными трехфакторного дисперсионного анализа, показавшего, что условия года (температура и количество осадков) могут объяснить до 72...74 % вариативности содержания хлорофилла *a* и до 80...84 % вариативность содержания каротиноидов.

Известно, что синтез хлорофилла требует наличия многих макроэлементов, особенно фосфора и азота [24]. Отсутствие статистически значимых различий соотношений *Chl/Car* и *Chl a/b* в вариантах с различными уровнями содержания фосфора в почве в оба года изучения может указывать на то, что дефицит фосфора в почве (вариант P50), как и его избыток (вариант P200), не приводит к структурным нарушениям фотосинтетического аппарата. Эти выводы согласуются с результатами работ зарубежных авторов [25], в которых показана стабильность соотношений *Chl a/b* и *Chl/Car* при различных уровнях содержания фосфора

в листьях. В то же время температурные условия выращивания значимо влияли на степень зависимости содержания листовых пигментов от концентрации фосфора в почве: в более теплых и сухих условиях 2018 года эти зависимости не были статистически значимыми, в более холодных условиях 2019 года синтез хлорофиллов значимо зависел от дозы фосфора в почве ($r = 0,536...0,748$).

Считается, что значительная часть азота в листьях заключена в молекулах хлорофилла, поскольку в ряде работ показана прямая связь между этими двумя параметрами [26, 27]. В наших исследованиях статистически значимые связи содержания хлорофилла и азота в листьях клевера обнаружены только в условиях более прохладного 2019 года, причем с содержанием *Chl a* в листьях эта связь была высокой и проявлялась на обоих почвенных фонах (рН 3,68 и 5,60), тогда как с *Chl b* связь была существенно ниже и проявилась только в условиях низкого рН почвы. Необходимо отметить, что именно в условиях кислой почвы в 2019 году было отмечено статистически значимая связь содержания азота в листьях клевера с содержанием фосфора в почве ($r = 0,49$).

Хотя большинство исследователей обычно устанавливают положительное влияние азотных удобрений на синтез хлорофилла в листьях [28, 29], существуют работы, в которых указывается на то, что они могут приводить к снижению концентрации пигментов [30], либо не оказывать статистически значимого влияния на изучаемые показатели [31] в зависимости от года исследований, дозы и формы применяемого азотного удобрения. Наши данные показали, что содержание азота в листьях статистически значимо влияло на синтез фотосинтетических пигментов только в условиях прохладного лета 2019 года ($r = 0,92$ и $0,52$ для естественной кислой почвы и почвенного фона с внесением известки соответственно).

В целом, анализ взаимосвязи содержания пигментов в листьях с содержанием минеральных элементов в почве (азота и фосфора) позволяет предположить, что в более благоприятных погодных условиях пигментный комплекс не является основным потребителем этих макроэлементов в листьях. Однако в условиях продолжительного воздействия субоптимальных температур (ниже 15 °C) между различными физиологическими про-

цессами, протекающими в растении, возникает конкуренция за доступные элементы питания, в которой пигментный аппарат получает значительное преимущество.

Заключение. Таким образом, анализ полученных данных показал, что содержание пигментов в листьях клевера лугового в наибольшей степени зависело от погодных условий года выращивания (доля влияния этого фактора составила 74...84 %).

В более сухих и теплых условиях 2018 года содержание зеленых пигментов (*Chl a+b*) в листьях клевера составило 15,34...19,05 мг/г сухой массы, из них 9,64...11,36 мг/г приходилось на *Chl a*, 69...78 % которого содержалось в ССК. Внесение азотных удобрений приводило к снижению уровня синтеза пигментов: *Chl a* – на 11...15 %, *Chl b* – на 11...22 % в зависимости от pH почвы. При этом не выявлено связи содержания фотосинтетических пигментов как с содержанием азота в листьях клевера, так и с содержанием фосфора в почве. Полное минеральное удобрение не повлияло на содержание пигментов при pH 5,60, но на кислом почвенном фоне (pH 3,68) содержание пигментов снижалось на 6,7...11,7 % относительно контроля без внесения удобрений.

В более прохладных и влажных условиях 2019 года общее содержание хлорофиллов снизилось до 11,47...14,10 мг/г сухой массы листа. Содержание *Chl a* также было ниже (6,67...7,98 мг/г), но его доля, содержащаяся в ССК, повысилась до 89...96 %. Пропорцио-

нально снижению содержания хлорофиллов снизилось и содержание каротиноидов, варьируя от 1,52 до 1,88 мг/г. Азотные удобрения (без известкования и внесения фосфора) не повлияли на содержание пигментов, полное минеральное удобрение повысило содержание *Chl a* на 14,1...17,8 %, каротиноидов – на 18,2...25,4 %, значимых изменений содержания *Chl b* не отмечено. В условиях 2019 г. содержание *Chl a* значимо зависело от содержания азота в листьях ($r = 0,52...0,92$). В условиях естественной кислой почвы проявилась связь содержания азота и *Chl b* ($r = 0,78$). Содержание пигментов в листьях значимо коррелировало с уровнем фосфора в почве: для *Chl a* – $r = 0,74$ и $0,54$, для *Chl b* – $r = 0,73$ и $0,75$ (кислый почвенный фон и фона с внесением извести соответственно). Корреляция между содержанием фосфора в почве и содержанием каротиноидов в листьях была незначимой во всех случаях.

Основываясь на показателях массового соотношения хлорофиллов *a/b* (1,54...1,75 в 2018 г. и 1,18...1,47 в 2019 г.) можно предположить, что растения развивались в условиях недостатка солнечной инсоляции в загущенном сомкнутом посеве; однако массовое соотношение суммы хлорофиллов и каротиноидов (5,7...6,7 в 2018 г. и 6,86...9,65 в 2019 г.) показывает, что данный абиотический фактор не привел к нарушениям структуры фотосинтетического аппарата листьев клевера лугового.

References

1. Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Macena Da Silva F. A., Corbeels M., Valadares Xavier J. H., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., De Carvalho Mendes I., De Tourdonnet S. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2013;33:113-130. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0106-9>
2. Mauro R. P., Sortino O., Dipasquale M., Mauromicale G. Phenological and growth response of legume cover crops to shading. *J. Agric. Sci.* 2014;152(6):917-931. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859613000592>
3. Djigal D., Saj S., Rabary B., Blanchart E., Villenave C. Mulch type affects soil biological functioning and crop yield of conservation agriculture systems in a long-term experiment in Madagascar. *Soil Till. Res.* 2012;118:11-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.008>
4. Carof M., De Tourdonnet S., Coquet Y., Hallaire V., Roger-Estrade J. Hydraulic conductivity and porosity under conventional and no tillage and the effect of three species of cover crop in Northern France. *Soil Use Manage.* 2007;23(3):230-237. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00085.x>
5. Doltra J., Olesen J. E. The role of catch crops in the ecological intensification of spring cereals in organic farming under Nordic climate. *Eur. J. Agron.* 2013;44:98-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.03.006>
6. Stagno F., Abbate C., Intrigliolo F., Abbate V., Gennari M. Effect of leguminous cover crops on soil biological activity in pots of Citrus unshiu Marcovitch. *Ital. J. Agron.* 2008;3(3):183-190. DOI: <https://doi.org/10.4081/ija.2008.183>
7. Kamh M., Horst W. J., Amer F., Mostafa H., Maier P. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. *Plant Soil.* 1999;211:19-27. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004543716488>

8. Mauro R. P., Anastasi U., Lombardo S., Pandino G., Pesce R., Restuccia A., Mauromicale G. Cover crops for managing weeds, soil chemical fertility and nutritional status of organically grown orange orchard in Sicily. *Italian Journal of Agronomy* 2015;10(2):101-104. DOI: <https://doi.org/10.4081/ija.2015.641>
9. Kurenkova S. V. *Fotosinteticheskie pigmenty. Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rasteniy na Severe*. [Photosynthetic pigments. Physiology and biochemistry of cultivated plants in the North]. Leningrad: Nauka, 1976. pp. 28-35.
10. Andrianova Yu. E., Tarchevskiy I. A. *Khlorofill i produktivnost' rasteniy*. [Chlorophyll and plant productivity]. Moscow: Nauka, 2000. 135 p.
11. 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*. Waretown, NJ: Apple Academic Press, 2016. pp. 3-16. URL: https://www.researchgate.net/publication/313404916_Breeding_of_Grain_Crops_in_Extreme_Climatic_Conditions_Ecological_and_Genetic_Studies
12. Lisitsyn E. M., Kedrova L. I., Utkina E. I., Zlobina N. A. *Reaktsiya pigmentnogo apparata list'ev ozimoy rzhi na edaficheskiy stress*. [Reaction of pigment apparatus of winter rye leaves on edaphic stress]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2010;1(16):20-24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13070823>
13. Li Q. C., Wang H. B., Wang H. J., Zheng W., Wu D. M., Wang Z. Z. Effects of kinetin on plant growth and chloroplast ultrastructure of two *Pteris* species under arsenate stress. *Ecotox. Environ. Safe*. 2018;158:37-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.009>
14. Zhang F., Lu K., Gu Y., Zhang L., Li W., Li Z. Effects of Low-Temperature Stress and Brassinolide Application on the Photosynthesis and Leaf Structure of Tung Tree Seedlings. *Front. Plant Sci.* 2020;10:1767. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01767>
15. Lyskova I. V., Rylova O. N., Veselkova N. A., Lyskova T. V. *Vliyanie udobreniy i izvesti na agrokhimicheskie pokazateli i fosfatnyy rezhim dervno-podzolistoy srednesuglinistoy pochvy*. [Influence of mineral fertilizers and lime on agrochemical parameters and phosphorus regimes of medium-loamy sod-podzolic soil]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;(2(45)):27-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23113615>
16. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*. 2001;1(1):F.4.3.1-F.4.3.8. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
17. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* Academic Press Inc., New York. 1987;148:350-382. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
18. Nagata N., Tanaka R., Satoh S., Tanaka A. Identification of a vinyl reductase gene for chlorophyll synthesis in *Arabidopsis thaliana* and implications for the evolution of *Prochlorococcus* species. *Plant Cell*. 2005;17(1):233-40. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.104.027276>
19. Suzuki K., Ohmori Y., Ratel E. High root temperature blocks both linear and cyclic electron transport in the dark during chilling of the leaves of rice seedlings. *Plant Cell Physiology*. 2011;52(9):1697-1707. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr104>
20. Murata N., Takahashi S., Nishiyama Y., Allakhverdiev S. I. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. *BBA-Bioenergetics*. 2007;1767(6):414-421. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2006.11.019>
21. Yadegari L. Z., Heidari R., Carapetian J. The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyde (MDA), total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedling. *Journal of Biological Sciences* 2007;7(8):1436-1441. DOI: <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.1436.1441>
22. Wojciechowska R., Kalisz A., Sekara A., Nosek M., Cebula S., Miszalski Z., Kunicki E., Grabowska A. Alteration in chlorophyll a fluorescence and pigment concentration in the leaves of cauliflower and broccoli transplants subjected to chilling. *Not Bot Horti Agrobo*. 2016;44(1):17-24. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha44110251>
23. Hendry G. A. F., Price A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. *Methods in Comparative Plant Ecology*. Chapman & Hall, London. 1993. pp. 148-152.
24. Li Y., He N., Hou J., Xu L., Liu C., Zhang J., Wang Q., Zhang X., Wu X. Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. *Front. Ecol. Evol.* 2018;6:64. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00064>
25. Singh S. K., Reddy V. R., Fleisher D. H., Timlin D. J. Relationship between photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in soybean under varying phosphorus nutrition at ambient and elevated CO₂. *Photosynthetica* 2017;55(3):421-433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0657-0>
26. Evans J. R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*. 1983;72(2):297-302. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1066227/>

27. Bojovic B., Markovic A. Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). Kragujevac J. Sci. 2009;31:69-74. URL: https://www.researchgate.net/publication/266609505_Correlation_between_nitrogen_and_chlorophyll_content_in_wheat_Triticum_aestivum_L
28. Lamptey S., Li L., Xie J., Zhang R., Yeboah S., Antille D. L. Photosynthetic Response of Maize to Nitrogen Fertilization in the Semiarid Western Loess Plateau of China. Crop Sci. 2017;57(5):2739-2752. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.12.1021>
29. Wamalwa D. S., Sikuku P. A., Netondo G. W., Khasabulli B. D. Influence of NPK Blended Fertilizer Application on Chlorophyll Content and Tissue Mineral Contents of Two Finger Millet Varieties Grown in Acid Soils of Kakamega, Western Kenya. International Journal of Plant & Soil Science. 2019;27(4):1-9. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2019/v27i430082>
30. Kononov A. S., Shkotova O. N. *Vliyanie form azotnykh udobreniy na sodержanie khlorofilla v odnovidovykh i smeshannykh bobovo-zlakovykh agrotsenozakh*. [The influence of the forms of nitrogen fertilizers on the content of chlorophyll in single-species and mixed legume-cereal agrocenosis]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* = The Bryansk State University Herald. 2012;4-1:103-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23478311>
31. Skudra I., Ruza A. Effect of Nitrogen and Sulphur Fertilization on Chlorophyll Content in Winter Wheat. Rural Sustainability Research. 2017;37(332):29-37. DOI: <https://doi.org/10.1515/plua-2017-0004>

Сведения об авторах

Лыскова Ирина Владимировна, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

✉ **Лисицын Евгений Михайлович**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом, 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/0000-0002-3125-3604>, e-mail: edaphic@mail.ru

Лыскова Татьяна Владимировна, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

Information about the authors

Irina V. Lyskova, PhD in Agricultural science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, v. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

✉ **Evgeniy M. Lisitsyn**, DSc in Biology, leading researcher, Head of the Department, 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/0000-0002-3125-3604>, e-mail: edaphic@mail.ru

Tatiana V. Lyskova, junior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, v. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.397-407>



УДК 633.321:632.488

Изучение комбинационной способности сортообразцов клевера лугового для целей селекции в условиях Волго-Вятского региона

© 2020. Е. Г. Арзамасова, Е. В. Попова, М. Н. Грипась✉

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

В статье изложены результаты научно-исследовательской работы по оценке общей (ОКС) и специфической комбинационной способности (СКС) у 14 сортообразцов клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) различного эколого-географического происхождения (Россия, Беларусь) с целью выявления лучших по показателям продуктивности для включения в селекционный процесс в условиях Волго-Вятского региона. Изучение исходных сортообразцов и их гибридных форм F_1 осуществляли в полевом опыте 2009 года посева при двухгодичном использовании травостоя (2010, 2011 гг.). Приведена характеристика сортообразцов по основным морфобиологическим признакам (зимостойкость, продолжительность вегетационного периода, высота растений, мощность травостоя) и хозяйственно значимым показателям (сбор сырой и сухой фитомассы, урожайность семян) в сравнении с районированным сортом Дымковский. Все сорта показали высокую зимостойкость в условиях Кировской области (более 79 %). По урожайности зелёной массы выделены Кармин, Трио, Стодолич (Россия), обеспечившие достоверно высокую продуктивность за 2 года пользования травостоем (5,52-5,81 кг/м², +2,01-2,30 кг/м² к стандарту), характеризующиеся средней величиной ОКС (104,2-109,6 %) и очень высокой СКС (123,7-139,3 %). По суммарному сбору сухой фитомассы лучшими были сорта Кармин и Гефест (Россия) со значимо высоким уровнем продуктивности (1,28; 1,29 кг/м², +0,49; 0,50 кг/м² к стандарту), средней ОКС (102,4; 103,2 %) и очень высокой СКС (133,3; 134,4 %). По урожайности семян выделены наиболее продуктивные российские сорта Стодоличенский, Трио, Светлячок (74,2-82,6 г/м², +8,8-17,2 г/м² к ст.) с очень высокой ОКС (125,5-139,8 %) и величиной СКС среднего и высокого уровня (106,6-118,7 %). По результатам изучения для дальнейшей селекционной работы в качестве компонентов новых поликроссных популяций включены сортообразцы клевера лугового селекции российских научных учреждений: раннеспелые Кармин и Трио, позднеспелые Гефест и Светлячок.

Ключевые слова: *Trifolium pratense* L., исходный материал, гетерозис, общая комбинационная способность (ОКС), специфическая комбинационная способность (СКС), кормовая, семенная продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0098).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Арзамасова Е. Г., Попова Е. В., Грипась М. Н. Изучение комбинационной способности сортообразцов клевера лугового для целей селекции в условиях Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):397-407. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.397-407>

Поступила: 04.05.2020 Принята к публикации: 22.07.2020 Опубликована онлайн: 24.08.2020

Study of combining ability of meadow clover varieties for breeding purposes in the conditions of the Volga-Vyatka region

© 2020. Ekaterina G. Arzamasova, Eugenia V. Popova, Maria N. Gripas'✉

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

The article presents the results of research work on the assessment of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) in 14 varieties of meadow clover (*Trifolium pratense* L.) of various ecological and geographical origin (Russia, Belarus). The study was aimed at identifying the best varieties according to productivity indicators for inclusion into the breeding process in the conditions of the Volga-Vyatka region. The study of initial cultivars and their hybrid forms F_1 was carried out in the field experiment of 2009 with two-year use of grass stand (2010, 2011). The characteristics of cultivars according to the main morphological and biological characteristics (winter hardiness, length of the vegetative period, plant height, grass stand vigour) and economically significant indicators (collection of raw and dry phytomass, seed yield) in comparison with the zoned Dymkovsky variety are given. All varieties showed high winter hardiness in the conditions of the Kirov region (more than 79 %). By productivity of green mass the varieties Karmin, Trio, Stodolich (Russia) were selected. They provided significantly high productivity for 2 years of grass stand use (5.52-5.81 kg/m², +2.01-2.30 kg/m² to standard) and were characterized by medium value of GCA (104.2-109.6 %) and very high SCA (123.7-139.3 %). According to the total collection of dry phytomass, the best varieties were Karmin and Gefest (Russia) with a significantly high level of productivity (1.28; 1.29 kg/m², +0.49; 0.50 kg/m² to standard), medium GCA (102.4; 103.2 %) and very high SCA (133.3; 134.4 %). By seed yield, the most productive Russian varieties are Stodolishchensky, Trio and Svetlyachok (74.2-82.6 g/m², +8.8-17.2 g/m² to standard) with very high GCA (125.5-139.8 %) and SCA value of medium and high level (106.6-118.7 %). According to the results of the study, for further breeding work the following meadow clover cultivars of Russian research institutes breeding

were included as components of new polycross populations: early-matured Karmin and Trio, late-matured Gefest and Svetlyachok.

Keywords: *Trifolium pratense* L., initial material, heterosis, general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA), fodder and seed productivity

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0098).

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

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

For citations: Arzamasova E. G., Popova E. V., Gripas' M. N. Study of the combining ability of meadow clover varieties for breeding purposes in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4): 397-407. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.397-407>

Received: 04.05.2020

Accepted for publication: 22.07.2020

Published online: 24.08.2020

Клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) – традиционная травяная бобовая культура Нечерноземья России. По площади посева клевера (0,86 млн га) Волго-Вятский регион занимает второе место среди основных клеверосеющих зон Российской Федерации [1]. В Кировской области укосная площадь клевера лугового составляет 80,9 тыс. га, или 48,3 % от площади укосных угодий всех бобовых трав (по данным филиала ФГБУ «Россельхозцентр» на 01.07.2019 г.).

Для кормопроизводства и земледелия умеренных широт не только в России, но и в других странах мира практически невозможно подобрать равнозначную клеверу белковую, богатую витаминами, минеральными солями и микроэлементами культуру с относительно низкой энергоёмкостью выращивания, невысокой требовательностью к плодородию почв, высокой азотфиксирующей способностью и разнообразием использования кормовой массы [2, 3, 4].

Климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, оказывают существенное влияние на сельское хозяйство, что влечёт за собой угрозу стабильности производства продуктов питания для человека и кормов для животных [5]. Усилия селекционеров в области кормопроизводства, во избежание возможных негативных последствий и в целях повышения продуктивности кормовых угодий, должны быть направлены на создание сортов кормовых культур с учётом региональных лимитирующих факторов – экологически дифференцированных, адаптированных к местным условиям и погодным колебаниям. При этом новые сорта, наряду с высокой урожайностью, должны обладать комплексом качественных показателей [6]. Достичь этих целей возможно с использованием современных селекционно-генетических методов.

Одним из наиболее эффективных направлений в селекции многолетних бобовых трав

является гибридизация с использованием эффекта гетерозиса [7, 8, 9, 10]. Для данных культур характерна определённая популяционная разнокачественность: благодаря наличию открытого цветения, перекрёстного опыления и избирательного оплодотворения у растений разных генотипических свойств и особенностей происходит массовое образование гибридных организмов с наиболее благоприятным генным взаимодействием, обеспечивающим повышение их жизнеспособности и продуктивности [11].

У клевера лугового наибольший гетерозисный эффект проявляется при вовлечении в гибридизацию образцов, значительно различающихся по биологическим особенностям, связанным с морфологическим строением и экологическими условиями формирования популяции. Задача селекционера – подобрать родительские формы, обеспечивающие в гибридных потомствах многократное проявление гетерозиса, не затухающего в течение ряда поколений в связи с поддержанием гетерозиготности по многим генам [12, 13].

Для создания гетерозисных гибридов подбор исходных компонентов осуществляется на основе их комбинационной способности, т. е. способности генотипов в определённых комбинациях скрещиваний давать гетерозисное потомство. Данное свойство является наследственным [14]. Установлено, что изменчивость у гибридных потомств клевера контролируется преимущественно общей комбинационной способностью – на 65-70 %, доля специфической комбинационной способности в наследственной изменчивости составляет 20-22 %, следовательно, отбор исходных компонентов для селекции целесообразно вести по ОКС [15].

У многолетних трав наиболее приемлемыми методами оценки комбинационной способности являются свободное переопыление, диаллельное скрещивание, топ-кросс и поликросс [14, 16].

Более широкое применение получил метод поликросса [17, 18, 19, 20]. Впервые он был предложен в 40-50 годах прошлого столетия независимо друг от друга учёными из Дании (Н. N. Frandcen, 1940), США (Н. M. Tysdal, T. A. Kiesselbach, H. L. Westower, 1942) и Голландии (Wellensiek, 1952) [21]. Его суть состоит в выращивании растений в питомнике, где создаются условия для свободного цветения и переопыления всех компонентов с последующей оценкой гибридных потомств по селективируемым признакам. Выделенные таким образом лучшие родительские генотипы используют для создания синтетических (сложногибридных) сортов-популяций.

Использование методов гетерозисной селекции позволило получить перспективный селекционный материал клевера лугового с наличием эффекта гетерозиса по многим хозяйственно полезным признакам [7, 13, 22, 23]. Отечественными учёными были созданы сорта, сочетающие продуктивные качества с повышенной средообразующей функцией, высокой экологической пластичностью и адаптивностью к условиям произрастания: во ВНИИ кормов – ВИК 7, Алтын, Салют, ВИК 84, Марс, Метеор [24], во ВНИИЗБК – Орловский среднеранний, Сувенир [25], в СибНИИК – СибНИИК 10, совместно с НИИСХ Северного Зауралья – Родник Сибири, Атлант [7], в ФАНЦ Северо-Востока – Дымковский, Кудесник [26].

Успехи гетерозисной селекции клевера лугового позволяют сделать вывод об эффективности метода и актуальности его применения в селекционной практике при создании сортов нового поколения. Научная новизна представленных в статье исследований состоит в том, что на основе изученного исходного материала сформированы новые поликроссные популяции для дальнейшей селекционной работы по созданию новых сортов клевера лугового.

Цель исследований – оценить комбинационную способность сортообразцов клевера лугового различного эколого-географического происхождения по показателям продуктивности, выделить наиболее ценные исходные компоненты для гетерозисной селекции в условиях Волго-Вятского региона.

Материал и методы. Исследования проведены в лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ

ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объект исследований – 14 сортообразцов клевера лугового селекции ведущих научно-исследовательских учреждений Российской Федерации и Республики Беларусь.

Изучение комбинационной способности сортообразцов по проявлению эффекта гетерозиса осуществляли в полевом опыте 2009 года посева при двухгодичном использовании травостоя (2010, 2011 гг.). Почва участка – типичная для зоны: дерново-подзолистая среднесуглинистая, характеризующаяся высокой кислотностью (pH_{KCl} – 4,4) и низким содержанием гумуса (по Тюрину) – 2,2 %; с высокой обеспеченностью элементами минерального питания (по Кирсанову): P_2O_5 – 196; K_2O – 193 мг/кг почвы. Посев питомника произведён вручную на делянках площадью 1 м², в 6-кратной повторности, с рендомизацией.

Фенологические наблюдения, учёты, оценки проводили в соответствии с общепринятыми методиками¹. При оценке сортообразцов изучали проявление гетерозиса по основным биологическим и хозяйственно полезным признакам: зимостойкость, высота растений, мощность травостоя, урожайность зелёной и сухой массы, семян.

Общую комбинационную способность, или истинный гетерозис, рассчитывали как отношение урожая (кормовая масса, семена) гибридного потомства F_1 каждого сортообразца к среднему урожаю всех гибридов и стандарта плюс величина НСР (наименьшая существенная разность). Специфическую комбинационную способность (конкурсный гетерозис) определяли как отношение урожая потомства F_1 к среднему урожаю стандарта плюс НСР. В качестве стандарта использовали районированный сорт клевера лугового Дымковский селекции ФАНЦ Северо-Востока, принятый Госкомиссией по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур Российской Федерации для Волго-Вятского региона. Шкала для оценки комбинационной способности имеет следующие градации²:

Очень низкая	<100 % + НСР
Низкая	100 % + НСР
Средняя	101-110 % + НСР
Высокая	111-120 % + НСР
Очень высокая	>121 % + НСР

¹Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера. М.: ВНИИК, 2002. 72 с.; Широкий унифицированный классификатор рода *Trifolium* L. Л.: ВИР, 1983. 32 с.

²Методические указания по селекции многолетних трав. М.: ВНИИК, 1985. 188 с.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову³ с использованием селекционно-ориентированной компьютерной программы AGROS 2.07.

Результаты и их обсуждение. При создании новых сортов клевера наибольшее проявление эффекта гетерозиса наблюдается у полигибридного потомства от скрещиваний разнокачественного исходного материала с широкой генетической основой [15]. В наших исследованиях были представлены сорта клевера лугового различного эколого-географического происхождения: Устойливы, Янтарный, Витебчанин (НПЦ НАН Беларуси по земледелию), Саба, Кармин (ФГБНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка»), Топаз (ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Московская обл.), Стодолищенский, Стодолич (ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», обособленное подразделение в г. Смоленск), Солигаличский местный (Костромской НИИСХ), Гефест, Светлячок (НИИСХ Северного Зауралья – филиал

ТюмНИЦ СО РАН, г. Тюмень), Трио, Дымковский, Кировский 159 (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров).

Условия перезимовки 2009-2010 гг. складывались от малоблагоприятных в первую половину (с резкими перепадами высоты снежного покрова и температуры воздуха на уровне корневой шейки растений до критических значений) до удовлетворительных во вторую половину зимы. В 2010 г. вследствие экстремальной летней засухи состояние растений перед уходом в зиму оценивалось как ослабленное, осенний период также не способствовал их закалке. Тем не менее, условия второй перезимовки 2010-2011 гг. в целом благоприятствовали хорошему прохождению периода покоя клевера.

По результатам анализа сохранности растений в ранневесенние периоды все сортообразцы клевера за годы изучения проявили высокую зимостойкость (в среднем 89,3 %) – на уровне ст. Дымковский (88,6 %). Очень высокой зимостойкостью (свыше 90 %) в условиях Кировской области характеризовались сорта Гефест, Янтарный, Трио, Кармин (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика сортообразцов клевера лугового по основным морфобиологическим признакам (среднее за 2010-2011 гг.) /

Table 1 – Characteristics of meadow clover varieties by main morphobiological characteristics (average for 2010-2011)

Сортообразец / Variety	Зимостойкость / Winter hardiness		Период до цветения / The period to flowering		Высота растений / Plant height		Мощность травостоя / Grass stand vigour	
	%	± к исх. / ± to orig.	сут / days	± к исх. / ± to orig.	см / cm	± к исх. / ± to orig.	балл / score	± к исх. / ± to orig.
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	88,6	-	70	-	68,2	-	3,8	-
Трио / Trio	92,7	+5,4	55	-2	70,2	-2,2	4,4	+0,2
Кировский 159 / Kirovsky 159	90,0	+5,8	71	-1	72,6	-2,2	3,4	-1,0
Дымковский / Dymkovsky	88,8	+0,2	69	-1	72,2	+4,0	4,0	+0,2
Устойливы / Ustoilivy	79,6	-4,8	53	0	78,2	+3,8	4,8	0,0
Янтарный / Yantarny	92,5	+7,3	54	0	74,3	+2,2	4,4	-0,3
Витебчанин / Vitebchanin	86,4	+10,4	61	+4	70,4	+6,8	4,5	+0,3
Саба / Saba	90,0	+2,5	57	-2	68,7	-3,9	3,3	-0,5
Кармин / Karmin	94,0	+4,7	67	+3	73,2	+1,6	4,0	+0,6
Топаз / Topaz	88,0	-1,6	71	+2	78,6	+6,8	3,6	+0,2
Стодолищенский / Stodolischensky	88,6	-3,7	71	+2	75,2	+3,5	3,6	-0,3
Стодолич / Stodolich	90,6	-3,5	70	+1	80,0	+2,8	5,0	+0,2
Солигаличский м. / Soligalichsky m.	89,7	-1,5	71	-1	73,8	+2,8	3,4	-0,4
Гефест / Gefest	91,6	+4,6	72	+1	74,3	+1,1	4,0	0,0
Светлячок / Svetlyachok	87,8	-3,4	73	+1	73,5	-2,9	4,0	-0,4
Среднее по опыту / Average by the experiment	89,3	+1,6	65,4	+0,4	73,9	+1,8	4,0	0,0

³Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

У 7 сортообразцов наблюдали проявление адаптивного гетерозиса (повышение зимостойкости в сравнении с исходными формами). Наибольший его эффект отмечен у сортов белорусской селекции Янтарный и Витебчанин (+7,3; 10,4 % к исходной форме) вследствие их гибридизации с экологически отдалёнными сортами российской селекции, приспособленными к более низкому температурному режиму в период перезимовки.

По срокам наступления фазы цветения сортообразцы ранжированы на 4 группы: очень ранние (Устойливы, Янтарный, Трио) с датой начала цветения 14-18 июня; ранне-спелые (Саба, Витебчанин) – 20, 25 июня; среднеспелые (Кармин, Дымковский, Стодолич) – 30 июня-1 июля; среднепоздние и позднеспелые (Топаз, Стодолищенский, Солигалычский местный, Кировский 159, Гефест, Светлячок) – 2-4 июля. Продолжительность вегетационного периода от весеннего отрастания до начала цветения в данных группах составила соответственно 53-55, 57-61, 67-70, 71-73 суток. У 7 гибридов F_1 отмечено удлинение данного периода на 1-4 сут, у 5 – незначительное сокращение (на 1-2 сут).

Один из признаков, характеризующих проявление гетерозиса, – увеличение линейных размеров растения (соматический гетерозис). Изучаемые сортообразцы клевера к началу цветения сформировали среднерослые травостой высотой 68,7-80,0 см с превышением ст. Дымковский на 0,5-11,8 см. По данному признаку отмечен положительный эффект от свободного переопыления исходных сортообразцов (в среднем по опыту +1,8 см). Лучшими по абсолютному показателю были гибридные формы Янтарный, Стодолищенский, Устойливы, Топаз, Стодолич (74,3-80,0 см) при высоте ст. Дымковский – 68,2 см. Наибольший гетерозисный эффект выявлен у сортов Витебчанин и Топаз, которые превысили свои исходные популяции на 6,8 см. По мощности травостоя изменений в среднем по опыту не выявлено, наибольшее проявление гибридной силы – у сорта Кармин (+0,6 баллов).

Кормовая продуктивность является основным хозяйственным показателем клевера, поэтому оценка комбинационной способности исходных сортообразцов по данному признаку заслуживает особого внимания для целей селекции.

Вследствие экстремально засушливой погоды, сложившейся в 2010 году во вторую

половину вегетации (сумма осадков в июле-августе составила всего 1-10 мм, или 1-13 % нормы), изучаемые сорта клевера сформировали только один полноценный укос. В 2011 году ослабленные засухой предшествующего периода растения достигли хозяйственно значимого развития вегетативных органов только в первую половину вегетации. Поэтому оценка кормовой продуктивности сортов произведена по одному укосе во второй и третий годы жизни (2 и 3 г. ж.) клевера. Учёт кормовой продуктивности выявил различный уровень урожайности и комбинационной способности у сортообразцов.

В первый год укосного использования (1 г. п.) травостой сортообразцы сформировали вегетативную массу от 1,23 (Стодолищенский) до 2,33 кг/м² (Стодолич) при продуктивности стандарта 1,40 кг/м². Большинство сортов превзошли ст. Дымковский по урожайности на 7,1-44,3 %, однако характеризовались низкой ОКС (менее 100 %). Высокий уровень комбинационной способности (111,5 %) и сбора зелёной массы (2,33 кг/м² или +66,4 % к ст.) отмечен у сорта Стодолич (табл. 2).

Во второй год пользования (2 г. п.) при благоприятных гидротермических условиях вегетации изучаемые сортообразцы клевера сформировали укосную массу, превышающую уровень первого года почти в 2 раза (в среднем по опыту). Большинство из них (за исключением сортов белорусской селекции) с урожайностью 2,94-3,73 кг/м² достоверно превзошли стандарт (2,11 кг/м²) на 39,3-76,8 %. С точки зрения селекции и хозяйственной ценности наибольший интерес представляют сортообразцы Кармин, Светлячок, Трио, характеризующиеся средней ОКС (102,5-104,5 %), что свидетельствует о проявлении эффекта гетерозиса в более возрастном травостое (3 г. ж.).

За цикл изучения из 14 сортообразцов достоверно высокой урожайностью зелёной массы отличались 12; из них для целей селекции выделены наиболее продуктивные сорта Кармин, Трио, Стодолич (5,52-5,81 кг/м²), обеспечившие наибольшую прибавку по отношению к ст. Дымковский (+57,3-65,5 %) и характеризующиеся средней величиной ОКС (104,2-109,6 %).

У большинства сортообразцов выявлен конкурсный гетерозис вследствие существенного превышения их урожайности над стандартом (рис. 1).

Таблица 2 – Комбинационная способность сортов образцов клевера лугового по урожайности зелёной массы (посев 2009 г.) /

Table 2 – Combining ability of meadow clover varieties by green mass yield (2009 sowing)

Сортообразец / Variety	Год пользования / Year of use				В сумме за цикл / In total for the cycle	
	первый / first		второй / second			
	кг/м ² / kg/m ²	ОКС, % / GCA, %	кг/м ² / kg/m ²	ОКС, % / GCA, %	кг/м ² / kg/m ²	ОКС, % / GCA, %
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	1,40	-	2,11	-	3,51	-
Трио / Trio	1,85	88,5	3,73*	104,5	5,58*	105,3
Кировский 159 / Kirovsky 159	1,71	81,8	2,94*	82,4	4,64*	87,5
Дымковский / Dymkovsky	1,63	78,0	3,06*	85,7	4,69*	88,5
Устойливы / Ustoilivy	2,02	96,6	2,59	72,5	4,61*	87,0
Янтарный / Yantarny	1,63	78,0	2,25	63,0	3,88	73,2
Витебчанин / Vitebchanin	1,55	74,2	1,90	53,2	3,45	65,1
Саба / Saba	1,54	73,7	3,19*	89,4	4,73*	89,2
Кармин / Karmin	1,83	87,6	3,73*	104,5	5,52*	104,2
Топаз / Topaz	1,51	72,2	2,94*	82,4	4,45*	84,0
Стодолиценский / Stodolischensky	1,23	58,8	3,18*	89,1	4,41*	83,2
Стодолич / Stodolich	2,33*	111,5	3,48*	97,5	5,81*	109,6
Солигаличский м. / Soligalichsky m.	1,39	66,5	3,06*	85,7	4,45*	84,0
Гефест / Gefest	1,63	78,0	3,06*	85,7	4,69*	88,5
Светлячок / Svetlyachok	1,50	71,8	3,66*	102,5	5,16*	97,4
Среднее по опыту / Average by experiment	1,65	-	2,99	-	4,64	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,44	-	0,58	-	0,66	-

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

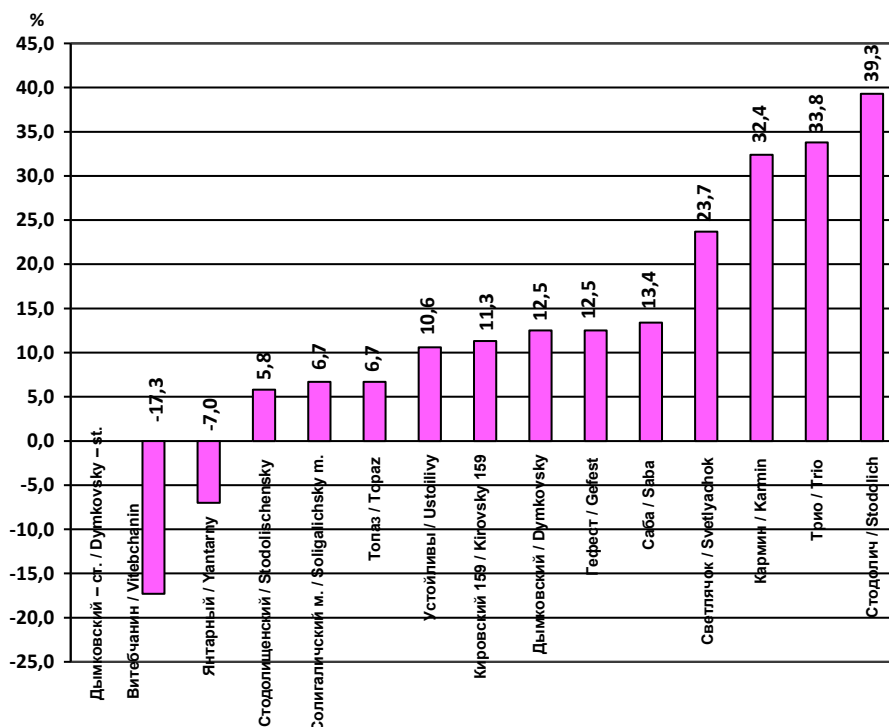


Рис. 1. Конкурсный гетерозис по продуктивности зелёной массы (в сумме за 2 года) у гибридов F₁ клевера лугового (посев 2009 г.) /

Fig. 1. Competitive heterosis of green mass productivity (in total for 2 years) in hybrids F₁ of meadow clover (2009 sowing)

По уровню СКС сортообразцы ранжированы на 4 группы: очень низкая (-17,3; -7,0 % к стандарту) – Витебчанин, Янтарный; средняя (+5,8-10,6 %) – Стодолищенский, Солигаличский местный, Топаз, Устойливы; высокая (+11,3-13,4 %) – Кировский 159, Дымковский, Гефест, Саба; очень высокая (+23,7-39,3 %) – Светлячок, Кармин, Трио, Стодолич.

По сбору сухого вещества наблюдали тенденцию, аналогичную урожайности зелёной массы – в первый год учёта, несмотря на превосходство гибридных форм над стандартом (в среднем по опыту сбор сухой массы составил 0,39 кг/м², что на 18,2 % выше стандарта), большинство из них показали низкий уровень ОКС (табл. 3).

Таблица 3 – Комбинационная способность сортообразцов клевера лугового по сбору сухого вещества (посев 2009 г.) /

Table 3 – Combining ability of meadow clover varieties by yield of dry matter (2009 sowing)

Сортообразец / Variety	Год пользования / Year of use				В сумме за цикл / In total for the cycle	
	первый / first		второй / second			
	кг/м ² / kg/m ²	ОКС, % / GCA, %	кг/м ² / kg/m ²	ОКС, % / GCA, %	кг/м ² / kg/m ²	ОКС, % / GCA, %
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	0,33	-	0,46	-	0,79	-
Трио / Trio	0,52*	106,1	0,60*	77,9	1,12*	89,6
Кировский 159 / Kirovsky 159	0,41	83,7	0,74*	96,1	1,15*	92,0
Дымковский / Dymkovsky	0,37	75,5	0,78*	101,3	1,14*	91,2
Устойливы / Ustoilivy	0,49*	100,0	0,52	67,5	1,01*	80,8
Янтарный / Yantarny	0,39	79,6	0,43	55,8	0,82	65,6
Витебчанин / Vitebchanin	0,37	75,5	0,42	54,5	0,79	63,2
Саба / Saba	0,36	73,5	0,65*	84,4	1,00*	80,0
Кармин / Karmin	0,44*	89,8	0,85*	110,4	1,28*	102,4
Топаз / Topaz	0,37	75,5	0,83*	107,8	1,20*	96,0
Стодолищенский / Stodolischensky	0,29	59,2	0,90*	116,9	1,19*	95,2
Стодолич / Stodolich	0,53*	108,2	0,62*	80,5	1,15*	92,0
Солигаличский м. / Soligalichsky m.	0,34	69,4	0,75*	97,4	1,09*	87,2
Гефест / Gefest	0,37	75,5	0,92*	119,5	1,29*	103,2
Светлячок / Svetlyachok	0,34	69,4	0,82*	106,5	1,16*	92,8
Среднее по опыту / Average by experiment	0,39	-	0,69	-	1,08	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,10	-	0,08	-	0,17	-

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

Достоверно высокий сбор сухого вещества (0,44-0,53 кг/м², +0,11-0,20 кг/м² к ст.) обеспечили сортообразцы Кармин, Устойливы, Трио, Стодолич, из них только Трио и Стодолич характеризовались средней ОКС (106,1; 108,2 %), остальные – низкой и очень низкой.

Во 2 г. п. достоверное преимущество над ст. Дымковский (0,46 кг/м²) показали 11 гибридных популяций с урожайностью 0,60 (Трио)-0,92 кг/м² (Гефест). Высокой ОКС характеризовались гибридные формы Стодолищенский, Гефест (116,9; 119,5 %), средней – Дымковский, Светлячок, Топаз, Кармин (101,3-110,4 %), остальные – низкой.

По результатам изучения интерес для гетерозисной селекции представляют сорта Кармин и Гефест, обеспечившие наибольший суммарный сбор сухого вещества (1,28; 1,29 кг/м²),

характеризующиеся средним уровнем ОКС (102,4; 103,2 %).

В сравнении со ст. Дымковский конкурсный гетерозис и специфическую комбинационную способность высокого и очень высокого уровня (+13,5-34,4 % к ст.) показали большинство сортов, среднее СКС – у Саба и Устойливы, очень низкое – у Витебчанин и Янтарный (рис. 2).

Урожайность семян и комбинационная способность исходных сортообразцов по данному признаку являются важными характеристиками для селекции новых сортов клевера лугового, т. к. в зоне неустойчивого земледелия, к которой относится европейская часть Северо-Востока Нечернозёмной зоны России, сорт должен обеспечивать надёжное воспроизводство и получение достаточного количества семян для производственных посевов.

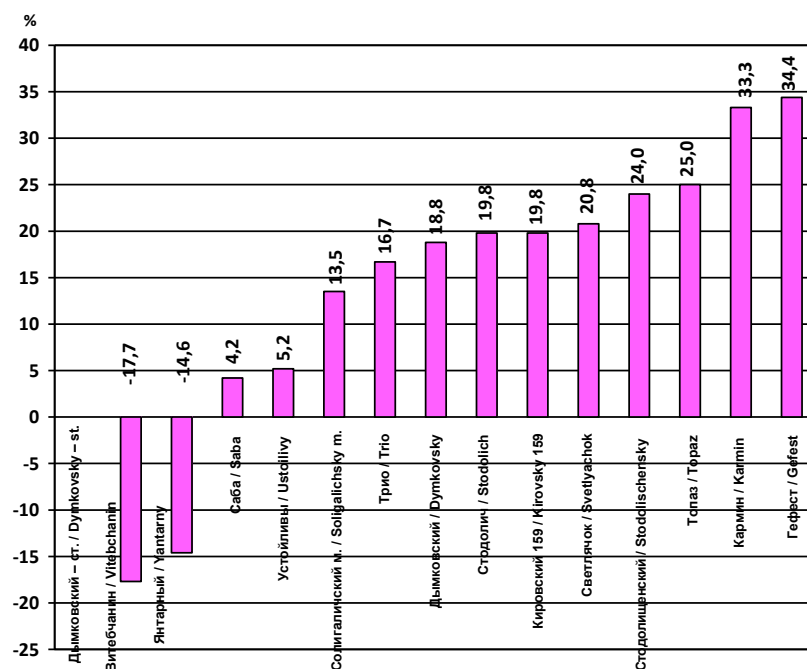


Рис. 2. Конкурсный гетерозис по сбору сухой фитомассы (в сумме за 2 года) у гибридов F_1 клевера лугового (посев 2009 г.) /
Fig. 2. Competitive heterosis for dry phytomass collecting (in total for 2 years) in hybrids F_1 of meadow clover (2009 sowing)

С селекционной точки зрения урожайность семян является признаком, контролируемым преимущественно естественным отбором, поэтому свободное переопыление генетически разноразличных сортопопуляций делает проявление гетерозиса наиболее вероятным [15].

В наших исследованиях выявлена положительная тенденция изменения урожайности семян у гибридных потомств (в среднем по опыту $+3,4 \text{ г/м}^2$) в сравнении с исходными сортообразцами (табл. 4).

Таблица 4 – Комбинационная способность сортообразцов клевера лугового по урожайности семян (посев 2009 г., среднее за 2 года) /
Table 4 – Combining ability of meadow clover varieties by seed yield (2009 sowing, average for 2 years)

Сортообразец / Variety	Гибридное потомство F_1 / Hybrid generation F_1			
	г/м^2 / g/m^2	$\pm$ к исх. форме / $\pm$ to original form	ОКГ, % / GCA, %	СКГ, % / SCA, %
Дымковский-ст. / Dymkovsky-st.	65,4	-	-	-
Трио / Trio	78,5*	+53,8	132,8	112,8
Кировский 159 / Kirovsky 159	50,8	-10,2	86,0	73,0
Дымковский / Dymkovsky	56,6	-8,8	95,8	81,3
Устойливы / Ustoilivy	16,0	-1,5	27,1	23,0
Янтарный / Yantarny	25,6	+3,5	43,3	36,8
Витебчанин / Vitebchanin	67,9	-5,4	114,9	97,6
Саба / Saba	44,4	-10,9	75,1	63,8
Кармин / Karmin	64,6	+9,2	109,3	92,8
Топаз / Topaz	51,0	-0,7	86,3	73,3
Стодолщанский / Stodolishchensky	74,2*	+8,2	125,5	106,6
Стодолч / Stodolich	28,6	+1,2	48,4	41,1
Солигаличский м. / Soligalichsky m.	64,3	+11,3	108,8	92,4
Гефест / Gefest	52,4	-8,0	88,7	75,3
Светлячок / Svetlyachok	82,6*	+6,6	139,8	118,7
Среднее по опыту / Average by experiment	54,9	+3,4	-	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	4,2	-	-	-

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

Наибольшее проявление репродуктивно-го гетерозиса отмечено у гибридных форм Стодолищенский, Кармин, Солигаличский местный, Трио (+8,2-53,8 г/м² к исходной форме). Достоверно высокой урожайностью семян (74,2-82,6 г/м² при показателе стандарта – 65,4 г/м²), очень высокой ОКС (125,5-139,8 %) и СКС среднего и высокого уровней (106,6-118,7 %) характеризовались гибриды F₁ Стодолищенский, Трио, Светлячок, что позволяет выделить данные сортообразцы клевера как исходный материал для селекции на семенную продуктивность.

Закключение. В результате оценки комбинационной способности 14 сортообразцов клевера лугового различного эколого-географического происхождения были выявлены наиболее ценные исходные компоненты для гетерозисной селекции в условиях Волго-Вятского региона: по урожайности зелёной массы – Кармин, Трио, Стодолич, характеризующиеся средней ОКС (104,2-109,6 %) и

очень высокой СКС (123,7-139,3 %); по сбору сухого вещества – Кармин и Гефест, отличающиеся средней ОКС (102,4; 103,2 %) и очень высокой СКС (133,3; 134,4 %); на семенную продуктивность – Стодолищенский, Трио, Светлячок – с очень высокой ОКС (125,5-139,8 %) и СКС среднего и высокого уровней (106,6-118,7 %). Выделенные сортообразцы также отличаются высокой зимостойкостью (более 87 %) в условиях Кировской области.

В селекционный процесс в качестве компонентов новых поликроссных популяций включены сортообразцы клевера лугового: раннеспелые Кармин селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка» и Трио селекции ФАНЦ Северо-Востока (в СГПФ-200); позднеспелые Гефест (в СГПФ-202) и Светлячок (в СГПФ-192) селекции НИИСХ Северного Зауралья. В настоящее время данные популяции проходят селекционное формирование в питомниках биотипического отбора на поле-вом провокационном фоне.

Список литературы

1. Новосёлов М. Ю., Дробышева Л. В., Матвеева О. С., Зятчина Г. П., Старшинова О. А., Одноровова А. А., Засименко Е. М. Современные подходы в селекции клевера лугового для кормопроизводства России. Земледелие. 2014;2:43-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21444550>
2. Новосёлова А. С. Экологическая селекция и семеноводство клевера лугового. Результаты 25-летних исследований творческого объединения ТОС "Клевер". Под ред. В. М. Косолапова, З. Ш. Шамсутдинова, О. С. Матвеевой. М.: ООО "Эльф ИПР"; 2012. 288 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823917>
3. Taylor N. L. A century of clover breeding developments in the United States. Crop science. 2008;45(1):1-13. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.08.0446>
4. Благовещенский Г. В., Штырхунов В. Д., Тимошенко С. М. Адаптация травяных агроэкосистем в изменяющемся климате Европы. Кормопроизводство. 2018;4:12-15. DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2018.2018.12718>
5. Гурова Т. А., Осипова Г. М. Проблема сопряжённой стрессоустойчивости растений при изменении климата в Сибири. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018;48(2):81-92. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-2-11>
6. Косолапов В. М., Костенко С. И., Пилипко С. В. Направления и задачи селекции кормовых трав в России. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(2):21-24. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10205>
7. Полюдина Р. И., Гришин В. М. Гетерозисная селекция клевера лугового и суданской травы в Сибири. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018;72:298-302. DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-298-302>
8. Manner R. Heterosis in red clover. Agricultural and Food Science. 1963;35(2):47-55. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.71596>
9. Michaelson-Yeates T.P.T., Marshal A., Abberton M. T., Rhodes I. Self-compatibility and heterosis in white clover (*Trifolium repens* L.). Euphytica. 1997;94:341-348. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1002989410326>
10. Milic D., Ajdukovic K., Nagl N., Katanski S., Katic S. Heterosis in Alfalfa Breeding. Ratar. Povrt. 2013;50(3):60-64. DOI: <https://doi.org/10.5937/ratpov50-5059>
11. Бекузарова С. А., Бораева З. Б., Гасиев В. И. Формирование сложно-гибридных популяций на основе интродуцированных бобовых трав. Известия Горского государственного аграрного университета. 2015;52(3):30-36. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24102202>
12. Новосёлова А. С., Рубцов М. И., Писковацкий Ю. М. Результаты и перспективы использования гетерозисного эффекта в селекции многолетних бобовых трав. Гетерозис. Минск: Наука и техника; 1982. С. 82-98.
13. Липовыцина Т. П. Исходный материал в создании поликроссных гибридов клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). Идеи Н. И. Вавилова в современном мире: IV Вавиловская межд. науч. конф. СПб.: ВИР; 2017. С. 272-273. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30709956>
14. Кедров-Зихман О. О. Поликросс-тест в селекции растений. Минск: Наука и техника; 1974. 127 с.
15. Новосёлова А. С. Клевер в России. Воронеж: Издательство им. Е. А. Болховитинова; 2002. 297 с.
16. Турбин Н. В., Хотылева Л. В., Тарутин Л. А. Диаллельный анализ в селекции растений. Минск: Наука и техника; 1974. 180 с.
17. Годунов И. А. Метод изучения комбинационной способности клевера лугового. Селекция и семеноводство. 1984;9:10-12.

18. Спрайнтайс А. П., Свирскис А. А. Эффективность метода поликросса в селекции клевера ползучего. Селекция и семеноводство. 1985;3:19-21.
19. Боме Н. А., Петунина Т. Л. Оценка комбинационной способности селекционного материала люцерны методом поликросса. Селекция и семеноводство. 1987;3:12-14.
20. Уразова Л. Д., Ложкина О. В. Использование метода поликросса в селекции овсяницы луговой. Достижения науки и техники АПК. 2012;5:13-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17734091>
21. Бриггс Ф., Ноулз П. Научные основы селекции растений. М.: Колос; 1972. 399 с.
22. Зарьянова З. А., Кирюхин С. В. Изучение комбинационной способности сортов и селекционных номеров клевера лугового по признаку семенной продуктивности. Образование, наука и производство. 2014;4(9):8-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25776955>
23. Новосёлов М. Ю., Старшинова О. А. Создание сложногогибридных популяций клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) на основе высокогетерозисных гибридов F₁. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. М.: ООО «Угрешская типография»; 2017;13(61):75-80. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29252920>
24. Косолапов В. М. Адаптивные сорта кормовых трав для экстремальных условий России. Достижения науки и техники АПК. 2013;7:71-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19960829>
25. Зарьянова З. А., Цуканова З. Р., Кирюхин С. В. Особенности хозяйственных и биологических признаков нового сорта клевера лугового Сувенир. Зернобобовые и крупяные культуры. 2015;3(15):30-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24116415>
26. Грипась М. Н., Тумасова М. И., Дёмшина Н. А., Устюжанин И. А., Онучина О. Л. Основные результаты и перспективы селекции многолетних трав на Северо-Востоке Европейской части России. Состояние и перспективы развития научного обеспечения сельскохозяйственного производства на Севере: Науч.-практ. конф., посвященная 50-летию ГНУ НИПТИ АПК Республики Коми и 125-летию со дня рождения А.В. Журавского. Сыктывкар; 2007. С. 32-39.

References

1. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Matveeva O. S., Zyatchina G. P., Starshinova O. A., Odnovorova A. A., Zsimeenko E. M. *Sovremennye podkhody v selektsii klevera lugovogo dlya kormoproizvodstva Rossii*. [Modern approaches to selection of meadow clover for feed production in Russia]. *Zemledelie*. 2014;2:43-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21444550>
2. Novoselova A. S. *Ekologicheskaya selektsiya i semenovodstvo klevera lugovogo*. [Ecological selection and seed production of meadow clover]. *Rezultaty 25-letnikh issledovaniy tvorcheskogo ob"edineniya TOS "Klever"*. [Results of 25-year research of the creative association "Clover"]. Pod red. V. M. Kosolapova, Z. Sh. Shamsutdinova, O. S. Matveevoy. M.: OOO "El'f IPR"; 2012. 288 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823917>
3. Taylor N. L. A century of clover breeding developments in the United States. *Crop science*. 2008;45(1):1-13. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.08.0446>
4. Blagoveshchenskiy G. V., Shtyrkhunov V. D., Timoshenko S. M. *Adaptatsiya travyanykh agroekosistem v izmenyayushchetsya klymate Evropy*. [Adaptation of grass agroecosystems under European changing climate]. *Kormoproizvodstvo = Fodder Production*. 2018;4:12-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2018.2018.12718>
5. Gurova T. A., Osipova G. M. *Problema sopryazhennoy stressoustoychivosti rasteniy pri izmenenii klymata v Sibiri*. [The problem of combined stress resistance of plants under climate change in Siberia]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*. 2018;48(2):81-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-2-11>
6. Kosolapov V. M., Kostenko S. I., Pilipko S. V. *Napravleniya i zadachi selektsii kormovykh trav v Rossii*. [Directions and tasks of breeding of forage grasses in Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;32(2):21-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10205>
7. Polyudina R. I., Grishin V. M. *Geterozisnaya selektsiya klevera lu-govogo i sudanskoy travy v Sibiri*. [Heterosis selection of meadow clover and Sudan grass in Siberia] *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;72:298-302. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-298-302>
8. Manner R. Heterosis in red clover. *Agricultural and Food Science*. 1963;35(2):47-55. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.71596>
9. Michaelson-Yeates T.P.T., Marshal A., Abberton M. T., Rhodes I. Self-compatibility and heterosis in white clover (*Trifolium repens* L.). *Euphytica*. 1997;94:341-348. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1002989410326>
10. Milic D., Ajdukovic K., Nagl N., Katanski S., Katic S. Heterosis in Alfalfa Breeding. *Ratar. Povrt*. 2013;50(3):60-64. DOI: <https://doi.org/10.5937/ratpov50-5059>
11. Bekuzarova S. A., Boraeva Z. B., Gasiev V. I. *Formirovanie slozhno-gibridnykh populyatsiy na osnove introdutsirovannykh bobovykh trav*. [Formation of complex-hybrid populations on the basis of introduced legume grasses]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2015;52(3):30-36. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24102202>
12. Novoselova A. S., Rubtsov M. I., Piskovatskiy Yu. M. *Rezultaty i perspektivy ispol'zovaniya geterozisnogo effekta v selektsii mnogoletnikh bobovykh trav*. [Results and prospects of using the heterosis effect in the selection of perennial legumes]. *Geterozis*. Minsk: Nauka i tekhnika; 1982. pp. 82-98.
13. Lipovtyn T. P. *Iskhodnyy material v sozdaniy polikrossnykh gibridov klevera lugovogo (Trifolium pratense L.)*. [The initial material in the creation of polycross hybrids of meadow clover (*Trifolium pratense* L.)]. *Idei N. I. Vavilova v sovremennom mire: IV Vavilovskaya mezhd. nauch. konf.* [Ideas of N. I. Vavilov in the modern world: The IVth Vavilov International scientific conference]. Saint-Petersburg: VIR; 2017. pp. 272-273. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30709956>
14. Kedrov-Zikhman O. O. *Polikross-test v selektsii rasteniy*. [Polycross test in plant breeding]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1974. 127 p.

15. Novoselova A. S. *Klever v Rossii*. [Clover in Russia]. Voronezh: Izdatel'stvo im. E. A. Bolkhovitinova; 2002. 297 p.
16. Turbin N. V., Khotyleva L. V., Tarutina L. A. *Diallel'nyy analiz v selektsii rasteniy*. [Diallel analysis in plant breeding]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1974. 180 p.
17. Godunov I. A. *Metod izucheniya kombinatsionnoy sposobnosti klevra lugovogo*. [Method for studying the combining ability of meadow clover]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1984;9:10-12. (In Russ.).
18. Spraynaytis A. P., Svirskis A. A. *Effektivnost' metoda polikrossa v selektsii klevra polzuchego*. [Efficiency of the polycross method in the white clover breeding]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1985;3:19-21. (In Russ.).
19. Bome N. A., Petunina T. L. *Otsenka kombinatsionnoy sposobnosti selektsionnogo materiala lyutserny metodom polikrossa*. [Evaluation of the combining ability of alfalfa breeding material by polycross method]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1987;3:12-14. (In Russ.).
20. Urazova L. D., Lozhkina O. V. *Ispol'zovanie metoda polikrossa v selektsii ovsyanytsy lugovoy*. [Use of the polycross method in meadow fescue breeding]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012;5:13-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17734091>
21. Briggs F., Noulz P. *Nauchnye osnovy selektsii rasteniy*. [Scientific basis of plant breeding]. Moscow: Kolos; 1972. 399 p.
22. Zar'yanova Z. A., Kiryukhin S. V. *Izuchenie kombinatsionnoy sposobnosti sortov i selektsionnykh numerov klevra lugovogo po priznaku semennoy produktivnosti*. [Study of the combining ability of meadow clover varieties and breeding numbers according to seed productivity]. *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo*. 2014;4(9):8-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25776955>
23. Novoselov M. Yu., Starshinova O. A. *Sozdanie slozhnogibridnykh populyatsiy klevra lugovogo (Trifolium pratense L.) na osnove vysokogeterozisnykh gibridov F1. Mnogofunktsional'noe adaptivnoe kormoproizvodstvo*. [Creation of complex hybrid populations of meadow clover (*Trifolium pratense* L.) based on high-heterosis hybrids F₁. Multifunctional adaptive feed production]. Moscow: OOO «Ugreshskaya tipografiya»; 2017;13(61):75-80. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29252920>
24. Kosolapov V. M. *Adaptivnye sorta kormovykh trav dlya ekstre-mal'nykh usloviy Rossii*. [Adaptive varieties of forage grasses for extreme conditions in Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2013;7:71-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19960829>
25. Zar'yanova Z. A., Tsukanova Z. R., Kiryukhin S. V. *Osobennosti khozyaystvennykh i biologicheskikh priznakov novogo sorta klevra lugovogo Souvenir*. [Features of economic and biological characteristics of the new variety of red clover Souvenir]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and groat crops*. 2015;3(15):30-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24116415>
26. Gripas' M. N., Tumasova M. I., Demshina N. A., Ustyuzhanin I. A., Onuchina O. L. *Osnovnye rezul'taty i perspektivy selektsii mnogoletnykh trav na Severo-Vostoke Evropeyskoy chasti Rossii*. [Onuchina O. L. Main results and prospects of perennial grasses breeding in the North-East of the European part of Russia]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya nauchnogo obespecheniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na Severe: Nauch.-prakt. konf., posvyashchennaya 50-letiyu GNU NIPTI APK Respubliki Komi i 125-letiyu so dnya rozhdeniya A. V. Zhuravskogo*. [Situation and prospects of development of scientific support of agricultural production in the North: Scientific and practical conference devoted to the 50th anniversary of GNU NIPTI APK of Komi Republik and 125th anniversary of A. V. Zhuravsky]. Syktyvkar; 2007. pp. 32-39.

Сведения об авторах

Арзамасова Екатерина Геннадьевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0939-4400>, e-mail: aeg5577@yandex.ru

Попова Евгения Валериевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4656>, e-mail: popovaev8008@yandex.ru

✉ **Грипась Мария Николаевна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1773-4142>, e-mail: travy@fanc-sv.ru

Information about the authors

Ekaterina G. Arzamasova, PhD in Agricultural science, researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Growing of Perennial Grasses, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0939-4400>, e-mail: aeg5577@yandex.ru

Eugenia V. Popova, PhD in Agricultural science, researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Growing of Perennial Grasses, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-4656>, e-mail: popovaev8008@yandex.ru

✉ **Maria N. Gripas**, PhD in Agricultural science, senior researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Growing of Perennial Grasses, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1773-4142>, e-mail: travy@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Разработка оптимального метода получения изолированных белков гороха для использования в селекции на качество

© 2020. С. В. Бобков ✉, О. В. Уварова

ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур»,
пос. Стрелецкий, Орловская область, Российская Федерация

В статье представлены результаты экспериментов по определению оптимальных параметров получения изолированных белков из зерна культурного и дикого гороха для использования в селекции на качество. В эксперименте использовали муку сортов гороха Софья и Родник, а также образца к-3370 дикого подвиды *Pisum sativum* L. ssp. *Elatius*. Изолированные белки получали на основе щелочной экстракции и изoeлектрической преципитации. Эксперименты проводили с использованием полного и дробного факторных планов с двумя уровнями факторов. Экстракцию и преципитацию белка проводили в два этапа, навеска муки составляла 100 г. Изучали влияние факторов (сорт, pH и время экстракции) на выход изолированного белка и эффективность экстракции, содержание сырого протеина и жира в белковых изолятах. Белковые изоляты характеризовались высоким (90,2-93,1 %) содержанием сырого протеина. Установлено, что рост pH выше 8 приводил к увеличению выхода изолята и уменьшению содержания сырого протеина. Полученные результаты указывают на возможность проведения эффективной щадящей экстракции белков гороха при пониженных значениях pH, что предотвращает образование токсичных химических веществ. Повышение pH способствовало увеличению содержания жира в белковом изоляте, особенно сильно и статистически значимо во второй экстракции. Вследствие этого, получение белковых изолятов для оценки генетических ресурсов гороха предложено проводить в результате одного цикла экстракции и осаживания. В экспериментах не выявлено существенных различий между культурным и диким горохом по технологическим показателям экстракции. Результаты исследований важны для оценки генетических ресурсов гороха по функциональным свойствам белковых изолятов.

Ключевые слова: генетические ресурсы, культурный и дикий горох, запасной белок, экстракция, преципитация, белковый изолят, сырой протеин, жир, эффективность экстракции

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», по пункту 0636-2020-0008 "Мобилизация генетических ресурсов зернобобовых и крупяных культур для использования в селекционном процессе".

Авторы выражают искреннюю благодарность Е. В. Семёновой (ВИГРР им Н. И. Вавилова) за любезно предоставленный образец дикого гороха к-3370 из коллекции ВИР.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бобков С. В., Уварова О. В. Разработка оптимального метода получения изолированных белков гороха для использования в селекции на качество. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(4):408-416. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.408-416>

Поступила: 28.03.2020

Принята к публикации: 18.06.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Development of optimal method of obtaining pea isolated proteins for use in breeding for quality

© 2020. Sergey V. Bobkov ✉, Olga V. Uvarova

Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, Streletskiy, Orel region,
Russian Federation

The article provides the results of the experiments on determination of optimal parameters for obtaining isolated proteins from grains of cultivated and wild pea for use in breeding for quality. The flour of pea varieties Sophia, Rodnik and wild accession k-3370 (*Pisum sativum* L. ssp. *Elatius*) were used in the experiment. Isolated pea proteins were obtained based on alkaline extraction and isoelectric precipitation. The experiments were carried out with the use of complete and fractional factorial plans with two levels of factors. Extraction and precipitation of protein were conducted in two stages. One hundred grams of flour were used for extraction. Influence of factors (variety, pH, duration of extraction) on the yield of isolated protein, extraction efficiency, crude protein and fat content in protein isolates was studied. All isolates were characterized by high content of crude protein (90.2-93.1 %). It was determined that increase of pH higher than eight led to enhancement of protein yield and decrease of crude protein content. The results obtained raise the possibility of effective extraction at decreased level of pH that prevents the formation of toxic chemicals. Increase of pH promoted fat accumulation in protein isolate especially at the second stage of extraction. Thus, obtaining protein isolates for evaluation of pea genetic resources should be conducted during a single cycle of extraction and precipitation. The experiments have not revealed significant differences between cultivated and wild pea as to the technology of extraction. The results of the studies are important for evaluation of pea genetic resources according to functional properties of protein isolates.

Keywords: *genetic resources; cultivated and wild pea; storage protein; extraction; precipitation; protein isolate; crude protein; fat; efficiency of extraction*

Acknowledgement: the research was carried out under financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment to the Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops (item 0636-2020-0008 "Mobilization of genetic resources in grain legumes and groat crops for use in breeding").

Authors would like to acknowledge E. V. Semenova (N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) for kindly provided wild accession of pea k-3370 from VIR collection.

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

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

For citations: Bobkov S. V., Uvarova O. V. Development of optimal method of obtaining pea isolated proteins for use in breeding for quality. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka=Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(4): 408-416. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.408-416>

Received: 28.03.2020

Accepted for publication: 18.06.2020

Published online: 24.08.2020

Зернобобовые культуры благодаря высокому содержанию ценного белка находят широкое применение в пищевой промышленности и кормопроизводстве. Запасные белки зернобобовых культур содержат много лизина, но, в отличие от злаков, мало серосодержащих аминокислот метионина и цистеина [1]. Среди бобовых культур белок гороха характеризуется наибольшим (7,0 %) содержанием лизина. Взаимодополняющие различия в аминокислотном составе у злаковых и бобовых культур являются основанием для экономически эффективного совместного использования продуктов переработки зерна этих культур.

В настоящее время технологическая, биохимическая и кулинарная оценка зерна селекционного материала гороха широко используется в селекционных программах. Глубокая переработка зерна, направленная на получение белковых изолятов, энзимрезистентного крахмала и клетчатки, предъявляет новые требования к оценке генетических ресурсов гороха. Использование изолированных белков гороха в пищевой промышленности в большей степени определяется их физико-химическими и функциональными свойствами [2, 3]. Важными функциональными свойствами изолированного белка являются растворимость, жиросдерживающая, эмульгирующая и пенообразующая способность [4]. Поэтому развитие новых методов оценки генетических ресурсов по качеству продуктов переработки является актуальным направлением исследований.

Повышенный интерес к генетическому разнообразию гороха, в том числе и его диким подвидам [5], можно сочетать с поиском и вовлечением в селекционный процесс новых аллелей, ответственных за высокое качество изолированных белков. Белки семян гороха, в основном, состоят из альбуминов (2S, 20-25 %) и глобулинов (7S, 11S, 55-65 %), фракция нерастворимых белков составляет

15-20 % [6]. Наиболее известными альбуминами являются PA1 (pea albumin 1, 11 кДа) и PA2 (pea albumin 2, 48-53 кДа), а также лектин, липоксигеназа, гликозидаза, ингибиторы амилаз и протеиназ. К глобулинам относятся легумин (11S), вицилин (7S) и конвицилин (7S). Запасные белки гороха (легумин, вицилин, конвицилин, PA1 и PA2) имеют различия в аминокислотном составе и, в зависимости от доли в совокупном белке, придают различные физико-химические свойства белковым изолятам [7]. Сорта гороха характеризуются широким диапазоном количественного отношения легумина к вицилину (0,2-1,5), что указывает на возможность ведения селекционной работы в направлении изменения соотношения указанных белков для создания сортов с улучшенным аминокислотным составом [8, 9]. Легумин и вицилин в качестве отдельных компонентов или в смеси формируют белковые гели хорошего качества, а конвицилин препятствует образованию гелей из белковых изолятов [8]. Вследствие этого белок, не содержащий конвицилина, является идеальным сырьём для пищевой промышленности. Ввиду отсутствия мутантов гороха, не содержащих конвицилин, использование в селекции гороха интрогрессивных аллелей изоформ конвицилина перспективно для создания сортов с высоким качеством изолированных белков [10].

Для проведения оценки генетических ресурсов гороха на качество белка необходимы исследования по оптимизации процесса получения белковых изолятов у представителей различных таксонов гороха. При этом важной характеристикой является эффективность экстракции изолированного белка, его чистота, отсутствие нежелательных химических модификаций, а также примеси крахмала и жира. Основные запасные белки гороха имеют одинаковую растворимость в щелочах [11], поэтому щелочную экстракцию с последующей изoeлектрической преципитацией

можно использовать для получения белковых изолятов у широкого набора генетических ресурсов гороха.

Цель исследований – определение оптимальных параметров получения белковых изолятов из зерна культурного и дикого гороха для использования в селекции на качество. В задачу исследования входило изучение влияния факторов «сорт», «рН раствора», «время экстракции» и «этап экстракции» на выход изолированного белка, содержание сырого протеина и жира в белковом изоляте.

Материал и методы. В эксперименте использовали муку сортов гороха Софья (2012) и Родник (2016) селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК, а также образца к-3370 дикого подвида *Pisum sativum* L. ssp. *elatius*, полученного из мировой коллекции ВИР.

Исследование состояло из двух экспериментов. В эксперименте 1 изучали влияние факторов «сорт», «рН» и «время экстракции» на выход изолята, содержание сырого протеина и жира в изоляте белка культурного гороха при первой и второй экстракциях. Уровнями фактора «сорт» являлись сорта Софья и Родник, «рН» – 8 и 10, «время экстракции» – 1 и 2 часа. Для уменьшения числа опытов эксперимент 1 проведен согласно схеме дробного факторного плана $2^{(3-1)}$. Указанную схему опыта использовали для первой и второй экстракций.

В эксперименте 2 проводили изучение влияния факторов «сорт» и «этап экстракции» на выход белкового изолята и содержание в нем сырого протеина и жира. Уровнями фактора «сорт» являлись сорт Софья и образец дикого гороха *elatius* к-3370 из коллекции ВИР, а уровнями фактора «этап экстракции» – 1-ая и 2-ая экстракции. Эксперимент 2 проведен с полным комбинированием уровней факторов 2^2 . Экстракцию проводили при рН = 9,8, которая продолжалась в течение 1 часа.

Семена гороха освобождали от оболочек на шелушильно-шлифовальной установке ЛШЯ-1 (Россия). Обрушенные семена гороха размалывали на мельнице Туре: QC-124 (Венгрия). Изолированные белки из муки гороха получали методом щелочной экстракции и изoeлектрической преципитации [12, 13]. Экстракцию белка проводили в два этапа, на первом этапе к 100 граммам муки приливали 1 дм³ дистиллированной воды (весовое отношение муки к воде 1:10), уровень рН устанавливали в результате добавления 2 н. раствора NaOH. Суспензию перемешивали на шейкере при комнатной температуре (25 °C).

После экстракции суспензию центрифугировали (4500 об/мин) в течение 15 минут. На втором этапе к осадку, полученному после первого центрифугирования, добавляли 500 см³ дистиллированной воды и 1 н. раствор NaOH.

На каждом этапе экстракции суспензию центрифугировали для осаждения изолята рН надосадочной жидкости, представляющую раствор белка, доводили до 4,5 (изоэлектрическая точка белка гороха) с помощью 2 н. раствора HCl [13]. Выпадающий в осадок белок центрифугировали при 4500 об/мин. Изолированные белки высушивали при температуре 50 °C в условиях активной вентиляции.

Эксперименты по экстракции белка проводили с использованием рН-метра рН-150МИ (Измерительная техника ИТ, Россия), аппарата универсального для встряхивания жидкостей в колбах и пробирках (Россия) и центрифуги PC-6УХЛ42 (Россия). Содержание сырого протеина в муке и изолированном белке определяли методом Къельдаля с использованием автоматической системы UDK 152 и дигестора с программируемым нагревом DK 6, а определение содержания жира проводили на экстракторе SER 148 компании Velp Scientifica (Италия) в соответствии с рекомендациями производителя.

Выход белка оценивали по количеству изолята, экстрагированного из 100 г муки в пересчете на абсолютно сухое вещество. Содержание сырого протеина и жира оценили в % на абсолютно сухое вещество.

Статистическую обработку данных по влиянию факторов «сорт», «рН», «время экстракции» и «этап экстракции» на выход изолированного белка, содержание сырого протеина и жира в белковом изоляте проводили с использованием многофакторного дисперсионного анализа. Влияние фактора на признаки качества изолята белка оценивали в соответствии с эффектом от изменения его уровня. В эксперименте анализировали главные эффекты, но не оценивали взаимодействия факторов.

Результаты и их обсуждение. Белковые изоляты получали из муки зерна сортов гороха Софья, Родник и образца дикого подвида гороха *elatius* коллекции ВИР к-3370 (рис.). Экстракцию и осаждение белка проводили в два этапа. На первом этапе белки экстрагировали из дисперсии муки в водопроводной воде путем добавления 1 дм³ воды к 100 г муки. На втором этапе белки экстрагировали из осадка муки, полученного в результате центрифугирования и последующего диспергирования в 500 см³ водопроводной воды.



а / а



б / б



в / с

Рис. Получение изолированных белков с использованием двух этапов щелочной экстракции и изoeлектрической преципитации: а) сырые и б) высушенные белковые изоляты, полученные из муки сортов гороха Софья и Родник в первом эксперименте; в) сырые изоляты из муки сорта гороха Софья и дикого образца коллекции ВИР к-3370 (*P. sativum* L. ssp. *elatius*), полученные во втором эксперименте. На рисунке показаны время экстракции – 1 и 2 часа и этап экстракции – 1 и 2. Изолированные белки высушивали при pH = 4,5 (изoeлектрическая точка белков гороха) /

Fig. Obtaining isolated proteins after two stages of alkaline extraction and isoelectric precipitation: a) crude and b) dried protein isolates obtained from flour of pea varieties Sophia and Rodnik in the first experiment, c) crude isolates derived from the flour of variety Sophia and wild accession from VIR collection k-3370 (*P. sativum* L. ssp. *elatius*) in the second experiment. In the figure, time of extraction (1 and 2 hours) and stage of extraction (1st and 2nd) are shown. Isolated proteins were dried at pH = 4.5 (isoelectric point of pea proteins)

В первом эксперименте во время первой экстракции из 100 г муки гороха сортов Софья и Родник получили 13,7-15,8 г абсолютно сухого белка с содержанием сырого протеина 90,2-93,1 % (табл. 1). В результате второй экстракции получили 1,04-1,58 г изолирован-

ного белка с содержанием 67,8-80,3 % сырого протеина. Эффективность экстракции, указывающая на долю суммарного белка, полученного в результате двух этапов экстрагирования и осаждения к его содержанию в зерне, варьировала в интервале 62,1-74,2 %.

Таблица 1 – Белковые изоляты из муки гороха сортов Софья и Родник /
Table 1 – Protein isolates from flour of pea varieties Sophia and Rodnik

Сорт / Variety	pH	Время экс- тракции, ч / Extraction time, h	Содержание сырого протеина, % асв* / Crude protein content, % DM*		Масса экстра- гированного белка, г асв / Mass of extracted protein, g DM	Суммарная масса белка, г асв / Sum mass of protein, g DM	Эффектив- ность экс- тракции, % / Efficiency of extraction, %
			в семенах / in seeds	в изоляте / in isolate			
1 экстракция / Fist extraction							
Софья / Sophia	8	2	26,4	93,06	13,7	15,28	64,3
Софья / Sophia	10	1		90,23	14,36	15,52	65,3
Родник / Rodnik	8	1	25,23	92,18	12,54	14,11	62,1
Родник / Rodnik	10	2		90,83	15,81	16,85	74,2
2 экстракция / Second extration							
Софья / Sophia	8	2	26,4	80,27	1,58	15,28	64,3
Софья / Sophia	10	1		72,73	1,16	15,52	65,3
Родник / Rodnik	8	1	25,23	77,78	1,57	14,11	62,1
Родник / Rodnik	10	2		67,83	1,04	16,85	74,2

* асв – абсолютно сухое вещество / * DM – dry matter

Во втором эксперименте белки экстрагировали из 100 муки сорта Софья и образца дикого подвида *elatius* к-3370 (табл. 2). После проведения первой и второй экстракций масса белка достигала 13,2-17,7 г и 2,3-3,1 г с содержанием сырого протеина 92,2-92,3 % и 81,6-84,8 % соответственно. Как у дикого, так

и культурного гороха в результате первой и второй экстракций выход белка составил 85 и 15 % соответственно. Суммарная масса белка и эффективность экстракции у дикого гороха была выше (20,8 г и 78,8 % соответственно), чем у культурного (15,5 г и 65,2 %).

Таблица 2 – Белковые изоляты из муки гороха дикого и культурного гороха /
Table 2 – Protein isolates from flour of wild and cultivated pea

Сорт / Variety	Этап экстракции / Stage of extraction	Содержание сырого протеина, % асв* / Crude protein content, % DM*		Масса экстрагированного белка, г асв (%) / Mass of extracted protein, g DM (%)	Суммарная масса белка, г асв / Sum mass of protein, g DM	Эффективность экстракции, % / Efficiency of extraction, %
		в семенах / in seeds	в изоляте / in isolate			
к-3370	1	29,36	92,16	17,71 (85,1 %)	20,82	78,8
	2		84,75	3,11 (14,9 %)		
Софья / Sophia	1	26,4	92,33	13,21 (85,3 %)	15,50	65,2
	2		81,60	2,28 (14,7 %)		

* асв – абсолютно сухое вещество / * DM – dry matter

Содержание сырого протеина в наших белковых изолятах соответствует данным литературных источников, а эффективность экстракции и последующего осаждения белков приближается к заявленной в научной литературе 80 % отметке только у образца дикого гороха к-3370 [3, 14, 15]. Относительно низкая эффективность получения белковых изолятов в наших экспериментах, по-видимому, обусловлена небольшими навесками муки и большими потерями изолированного белка в результате прилипания к стенкам химической посуды. Вполне возможно, что увеличение массы муки, направляемой на экстракцию, позволит повысить показатель эффективности экстракции. Исходя из анализа наших экспериментов можно предположить, что увеличение числа оборотов центрифуги может увеличить количество осажденного белка.

Влияние факторов «сорт», «рН» и «время экстракции» на выход белкового изолята, содержание сырого протеина и жира

в белковом изоляте гороха. В первом эксперименте проведены исследования влияния факторов «сорт», «рН» и «время экстракции» на выход белкового изолята, суммарный выход белка (после первой и второй экстракций), эффективность экстракции (доля экстрагированного и осажденного белка к его содержанию в муке), содержание сырого протеина и жира в изоляте белка при первой и второй экстракциях у культурного гороха. В эксперименте использовали сорта Софья и Родник, применяли два уровня рН – 8 и 10, экстракцию белка проводили в течение 1 и 2 часов.

Из трех исследованных факторов на выход белка статистически значимо влиял только фактор «рН» при первой экстракции (табл. 3). Увеличение рН на 2 единицы (с 8 до 10) приводило к существенному росту выхода изолята на 1,82 г (14,3 %) при первой и статистически не подтвержденному снижению на 0,44 г (30,2 %) при второй экстракции.

Таблица 3 – Статистически значимое влияние факторов «рН» и «сорт» на выход изолированных белков, содержание сырого протеина и жира в белковых изолятах /

Table 3 – Significant influence of factors «pH» and «variety» on the yield of isolated proteins, content of crude protein and fat in protein isolates

Фактор / Factor	Уровень фактора / Level of factor	Первая экстракция / First extraction			Вторая экстракция / Second extraction		
		$\bar{X}$	p	R^2	$\bar{X}$	p	R^2
Выход изолята, г асв* / Isolate yield, g DM							
pH	8	13,12	0,046892**	0,99583	1,575	0,073387	0,98701
	10	15,09			1,1		
Содержание сырого протеина, % асв / Crude protein content, % DM							
pH	8	92,6	0,042581	0,99603	79,025	0,087173	0,98414
	10	90,5			70,280		
Содержание жира в изоляте, % асв / Fat content, % DM							
Сорт / Variety	Софья / Sophia	1,7725	0,230157	0,91846	9,45	0,008966	0,99987
	Родник / Rodnik	2,07			11,58		
pH	8	1,805	0,286900	0,91846	9,78	0,012990	0,99987
	10	2,0375			11,25		

* асв – абсолютно сухое вещество / DM – dry matter

** жирным шрифтом выделены значимые эффекты факторов / significant effects of factors are highlighted in bold

Увеличение рН с 8 до 10 оказывало обратный эффект на содержание сырого протеина и приводило к его уменьшению на 2,1 % при первой экстракции и на 8,7 % при второй. На содержание сырого протеина в белковых изолятах фактор рН оказывал существенное влияние только при первой экстракции, хотя

и в данных по второй экстракции вероятность ошибочного отклонения нулевой гипотезы составила 0,087173, что достаточно близко к урону значимости $\alpha = 0,05$.

На содержание жира в белковом изоляте существенное влияние оказывали факторы «сорт» и «рН» и только при второй экстрак-

ции. Белковые изоляты сортов Софья и Родник, полученные в процессе 1-й экстракции, содержали 1,8 и 2,1 % жира, а изоляты, выделенные во 2-й экстракции – 9,5 и 11,6 % соответственно. Увеличение pH с 8 до 10 приводило к статистически значимому повышению содержания жира во второй экстракции с 9,8 до 11,3 %.

Из литературных источников известно, что растворимость белков и эффективность экстракции повышаются с ростом pH [13]. При этом следует обратить внимание на то, что при значениях pH выше 10 остатки цистеина и серина могут конвертироваться в дегидроаланин, который далее взаимодействует с остатками лизина, образуя нефротоксическое соединение лизиноаланин [16, 17]. Увеличение pH > 11 приводит к разбуханию крахмала и последующему засорению белковых изолятов крахмалом [11]. Достижение в нашем эксперименте баланса между увеличением выхода белкового изолята и уменьшением содержания в нем сырого протеина при увеличении pH с 8 до 10 указывает на возможность проведения эффективной экстракции белков гороха при пониженных значениях pH (меньше 10), что предотвращает образование токсичных химических веществ.

Таким образом, изучение влияния факторов «сорт», «pH» и «время экстракции» на выход белкового изолята, содержание сырого протеина и жира в изоляте при первой и второй экстракциях у культурного гороха позволило выявить ряд закономерностей. Показано,

что рост pH выше 8 приводит к статистически значимому увеличению выхода изолята при первой и снижению при второй экстракции, а также уменьшению содержания сырого протеина в обеих экстракциях. Повышение pH способствовало увеличению жира в белковом изоляте, особенно существенно и статистически значимо во второй экстракции. Содержание жира в белковых изолятах не зависело от его первоначального уровня в муке и, возможно, определялось генотипическими особенностями белкового комплекса гороха.

Рост интереса к диким подвидам гороха в качестве источника хозяйственно ценных признаков поднимает вопрос о их вовлечении в селекционный процесс. При этом особую актуальность приобретает изучение качества семян дикого гороха в плане глубокой переработки и получения белковых изолятов. Поэтому во втором эксперименте проведено сравнительное изучение сорта Софья и дикого образца коллекции ВИР к-3370 (*P. sativum* L. ssp. *elatius*). Семена сорта Софья и дикого образца к-3370 различались по массовой доле семенных оболочек и биохимическим параметрам. Они содержали 9,7 и 13,4 % оболочек, 26,40 и 29,36 % сырого протеина (табл. 2), 1,1 и 0,83 % жира соответственно.

Экстракцию и осаждение белка у культурного и дикого гороха проводили в течение 1 часа при pH = 9,8 (табл. 4). Изучали влияние факторов «сорт» и «этап экстракции» на выход изолята из 100 г муки, содержание в нем сырого протеина и жира.

Таблица 4 – Влияние генотипа и этапа экстракции-осаждения на выход изолята, содержание сырого протеина и жира в белковом изоляте (pH = 9,8; время экстракции – 1 час, осаждение белка при pH = 4,5), % /
Table 4 – Influence of genotype and stage of extraction-precipitation on the yield of isolate, content of crude protein and fat in protein isolate (pH = 9.8; duration of extraction – 1 hour, precipitation at pH = 4.5), %

Фактор / Factor	Уровень фактора / Level of factor	Выход изолята, г / Isolate yield, g			Содержание, % / Content, %					
					сырого протеина / crude protein			жира / fat		
		$\bar{X}$	p	R ²	$\bar{X}$	p	R ²	$\bar{X}$	p	R ²
Сорт (образец) / Variety (accession)	Софья / Sophia	7,74861	0,384408	0,98057	86,965	0,534324	0,96841	3,740	0,377661	0,96368
	к-3370	10,40961			88,455			2,420		
Этап экстракции / Stage of extraction	1	15,46066	0,090929	0,98057	92,245	0,028936	0,94297	0,885	0,059908	0,88377
	2	2,69756			83,175			5,275		

В целом, при проведении эксперимента не выявлено существенных различий между культурным и диким горохом по технологическим показателям экстракции. Существенное влияние на содержание сырого протеина оказывал фактор «этап экстракции». При первой экстракции как выход изолята, так и содержание в нем сырого протеина было выше, чем при второй. Содержание жира в изолятах второй экстракции было в 6 раз выше в сравнении с первой, но в данном эксперименте этот факт не получил статистического подтверждения, хотя вычисленная вероятность ($p = 0,059908$) была достаточно близка к принятому уровню значимости ($\alpha = 0,05$).

Заключение. Проведено изучение параметров получения изолированных белков гороха для использования в селекции на качество. Полученные в наших экспериментах изолированные белки характеризовались высоким (90,2-93,1 %) содержанием сырого протеина. Изучено влияние факторов «сорт», «рН» и «время экстракции» на выход белкового изолята, содержание сырого протеина и жира в изо-

ляте белка у культурного и дикого гороха при первой и второй экстракциях. Установлено, что рост рН выше 8 приводил к увеличению выхода изолята при первой и его снижению при второй экстракции, а также уменьшению содержания сырого протеина в обеих экстракциях. Полученные результаты указывают на возможность проведения эффективной щадящей экстракции белков гороха при пониженных значениях рН, что предотвращает образование токсичных химических веществ. В проведенных экспериментах повышение рН способствовало увеличению жира в белковом изоляте, особенно сильно и статистически значимо во второй экстракции. Вследствие этого, получение белковых изолятов для оценки генетических ресурсов гороха следует проводить в результате одного цикла экстракции и осаждения. В эксперименте не выявлено существенных различий между культурным и диким горохом по технологическим показателям экстракции, что дает основание для использования разрабатываемого метода в оценке широкого разнообразия селекционного материала.

References

1. Signor C. L., Aime D., Bordat A., Belgazi M., Labas V., Couzy O., Young T. B., Prosperi J.-M., Leprince O., Tompson R. D., Buitink J., Burstin J., Gallardo K. Genome-wide association studies with proteomics data reveal genes important for synthesis, transport and packaging of globulins in legume seeds. *New Phytologist*. 2017;214(4):1597-1613. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14500>
2. Adebisi A. P., Aluko R. E. Functional properties of protein fractions obtained from commercial yellow field pea (*Pisum sativum* L.) seed protein isolate. *Food Chemistry*. 2011;128(4):902-908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.116>
3. Karaca A. C., Low N., Nickerson M. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*. 2011;44(9):2742-2750. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>
4. Lam A. C. Y., Karaca A. C., Tyler R. T., Nickerson M. T. Pea protein isolates: structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*. 2018;34(2):126-147. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>
5. Smýkal P., Hradilová I., Trněný O., Brus J., Rathore A., Bariotakis M., Das R. R., Bhattacharyya D., Richards C., Coyne C. J., Pirintsos S. Genomic diversity and macroecology of the crop wild relatives of domesticated pea. *Sci Rep*. 2017;7(1):17384. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17623-4>
6. Gabriel I., Quillien L., Cassecuelle F., Marget P., Juin H., Lessire M., Seve B., Duc G., Burstin J. Variation in seed protein digestion of different pea (*Pisum sativum* L.) genotypes by cecectomized broiler chickens: 2. Relation between in vivo protein digestibility and pea seed characteristics, and identification of resistant pea polypeptides. *Livestock Science*. 2008;113(2-3):262-273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.04.005>
7. Casey R., Short M. N. Variation in the amino acid composition of legumin from *Pisum*. *Phytochemistry*. 1981;20(1):21-23. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85210-7](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85210-7)
8. Tzitzikas E. N., Vincken J. P., Groot J., Gruppen H., Visser R. G. Genetic variation in pea seed composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(2):425-433. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0519008>
9. Burstin J., Gallardo K., Mir R. R., Varshney R. K., Duc G. Improving protein content and nutrition quality. In *Biology and Breeding of Food Legumes*, Pratap A. and Kumar J. (eds.), Wallingford, CT: CAB International, 2011. 314-328. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845937669.0314>

10. Bobkov S. V., Selikhova T. N. *Poluchenie mezhhvidovykh gibridov gorokha dlya ispol'zovaniya v markernoy selektsii na vysokoe kachestvo belka*. [Obtaining pea interspecific hybrids for use in marker assistant selection on high protein quality]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2019;(3(31)):15-22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2019-11108>
11. Hoang H. D. Evaluation of pea protein and modified pea protein as egg replacers (Doctoral dissertation). North Dakota State University: Fargo, ND, 2012.
12. Bobkov S. V., Uvarova O. V. *Perspektiva ispol'zovaniya gorokha dlya proizvodstva izolyatov zapasnykh belkov*. [Peas use perspectives for production of storage proteins isolates]. *Zemledelie*. 2012;(8):47-48. (In Russ.).
13. Shand P. J., Ya H., Pietrasik Z., Wanasundara P. K. J. P. D. Physicochemical and textural properties of heat-induced pea protein isolate gels. *Food Chemistry*. 2007;102(4):1119-1130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.060>
14. Khrulev A. A., Beschetnikova N. A., Fedotov I. A. *Tendentsii razvitiya i ekonomicheskie aspekty proizvodstva gorokhovogo proteina*. [Development Tendencies and Economic Aspects of the Pea Protein Production]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2016;(4):24-29. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-i-ekonomicheskie-aspekty-proizvodstva-gorokhovogo-proteina/viewer>
15. Kudryashov V. L. *Importozameshchayushchaya tekhnologiya proizvodstva pishchevykh kontsentrata i izolyata belka, krakhmala i kletchatki iz gorokha s primeneniem baromembrannykh protsessov*. [Import-substituting technology for the production of food concentrate and isolate of protein, starch and fiber from peas using baromembrane processes]. *Pishchevaya industriya*. 2019;(1(39)):46-50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10003>
16. Otterburn M. S. Protein Crosslinking. In: Protein Quality and the Effects of Processing. Phillips R.D. and Finley J. W. (eds.), Marcel Dekker, New York, 1989.
17. Fabian C., Ju Y. H. A review on rice bran protein: its properties and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2011;51(9):816-827. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2010.482678>

Сведения об авторах

✉ **Бобков Сергей Васильевич**, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», ул. Молодежная, д. 10, корп. 1, пос. Стрелецкий, Орловский район, Орловская область, Российская Федерация, 302502, e-mail: office@vniizbk.orel.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-0791>, e-mail: svbobkov@gmail.com

Уварова Ольга Васильевна, инженер-исследователь лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», ул. Молодежная, д. 10, корп. 1, пос. Стрелецкий, Орловский район, Орловская область, Российская Федерация, 302502, e-mail: office@vniizbk.orel.ru, e-mail: olgauvarova528@gmail.com

Information about the authors

✉ **Sergey V. Bobkov**, PhD in Agricultural science, head of the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, 10, building 1, Molodezhnaya street, Streletsky, Orlovskiy district, Orel region, Russian Federation, 302502, e-mail: office@vniizbk.orel.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-0791>, e-mail: svbobkov@gmail.com,

Olga V. Uvarova, engineer-researcher, the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops, 10, building 1, Molodezhnaya street, Streletsky, Orlovskiy district, Orel region, Russian Federation, 302502, e-mail: office@vniizbk.orel.ru, e-mail: olgauvarova528@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.417-424>



УДК 633.34+631.559+658.562:631.8+631.821.1+631.81.095.337

Зависимость урожайности и качества зерна сои от макро- и микроудобрений на фоне последствий известкования

© 2020. Л. Н. Прокина ✉

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

В статье представлены результаты исследований, выполненные в полевом стационарном опыте на черноземе выщелоченном. В посевах сои сорта Магева изучали эффективность совместного и раздельного применения различных доз минеральных удобрений и хелатной формы микроудобрения (ЖУСС-2) в вариантах с почвой ранее произвесткованной по 0,5 и 1,0 г. к. Анализ урожайности культуры показал, что на величину данного показателя существенное влияние оказали только минеральные удобрения, которые обеспечивали прибавки от 0,05 до 0,37 т/га по сравнению с вариантом без удобрений (0,89 т/га, НСР₀₅ 0,05 т/га). Увеличение уровня азотного питания с 45 до 60 кг д. в. на 1 га не способствовало достоверному росту продуктивности сои и снижало окупаемость 1 кг д. в. азота зерном с 7,11 до 5,44 кг. Содержание сырого протеина в зерне сои достоверно повышалось от последствий известкования почвы по 0,5 г. к. на 0,79 % (НСР₀₅ 0,33 %), применения препарата ЖУСС-2 – на 0,19 % (НСР₀₅ 0,16 %) и от минеральных удобрений – на 0,26-4,02 % (НСР₀₅ 0,22 %). При внесении полного минерального удобрения концентрация сырого жира снижалась на 0,53-0,62 абс. %. С учетом неблагоприятных погодных условий под посевы сои на черноземе выщелоченном можно рекомендовать внесение минеральных удобрений в дозах N30P50K80 и N45P50K80 с обработкой посевов препаратом ЖУСС-2.

Ключевые слова: зернобобовая культура, продуктивность, внесение извести, минеральные удобрения, препарат ЖУСС-2, сырой протеин, сырой жир

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

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прокина Л. Н. Зависимость урожайности и качества зерна сои от макро- и микроудобрений на фоне известкования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):417-424. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.417-424>

Поступила: 22.05.2020

Принята к публикации: 21.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Dependence of yield and quality of soybean grain on macro and micro fertilizers against the background of liming aftereffect

© 2020. Lyudmila N. Prokina ✉

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

The article presents the results of research performed in a field stationary experiment on leached chernozem. In soy sowings of the Mageva variety, studied was the effectiveness of joint and separate application of various doses of mineral fertilizers and chelated form of microfertilizers (ZhUSS-2) in variants with soil previously limed in 0.5 and 1.0 h.a. The analysis of crop yield showed that the value of this indicator was significantly influenced only by mineral fertilizers, which provided an increase from 0.05 to 0.37 t/ha. as compared to the variant without fertilizers (0.89 t/ha, LSD₀₅ 0.05 t/ha). An increase in the level of nitrogen nutrition from 45 to 60 kg a. i. / ha did not contribute to a significant increase in soybean productivity and reduced the payback of 1 kg of a. i. nitrogen by grain from 7.11 to 5.44 kg. The content of crude protein in soybean grain significantly increased as the result of the aftereffect of liming of the soil in 0.5 h.a. by 0.79 % (LSD₀₅ 0.33 %), of ZhUSS-2 preparation use – by 0.19 % (LSD₀₅ 0.16 %) and of mineral fertilizers use – by 0.26-4.02 % (LSD₀₅ 0.22%). When full mineral fertilizer was applied, the concentration of crude fat decreased by 0.53-0.62 abs. %. Considering unfavorable weather conditions for sowing soybean crops on leached chernozem it is possible to recommend the application of mineral fertilizers in doses of N30P50K80 and N45P50K80 together with treatment of crops with ZhUSS-2 preparation.

Keywords: leguminous crops, productivity, lime application, mineral fertilizers, Zhuss-2 preparation, crude protein, crude fat

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

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

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

For citation: Prokina L. N. Dependence of yield and quality of soybean grain on macro and micro fertilizers against the background of liming aftereffect. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):417-424. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.417-424>

Received: 22.05.2020

Accepted for publication: 21.07.2020

Published online: 24.08.2020

Соя – ценная белково-масличная культура многогранного использования. Зерно ее широко используется в пищевой, фармацевтической, текстильной промышленности, а также применяется для приготовления сбалансированных кормов для всех видов животных и птицы. Сегодня объемы ее возделывания растут повсеместно, в том числе и в Республике Мордовия (от 0,3 тыс. га в 2010 г. до 366,7 тыс. га в 2019 г.).

Соя, как бобовая культура, в симбиозе с клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium* способна фиксировать азот атмосферы, что способствует меньшему потреблению минерального азота для формирования урожая. Мнения исследователей по поводу эффективности применения минеральных удобрений, особенно азотных, под сою очень противоречивы. Одни исследователи [1] вообще не рекомендуют вносить азотные удобрения под посевы сои, в работах других [2] не установлено стабильной реакции сои на азотные удобрения, но отмечено увеличение продуктивности культуры от их применения при засушливой погоде. Обеспечение посевов сои необходимым количеством питательных веществ, включающим обильный, но не чрезмерный уровень каждого элемента, также помогает растениям переносить недостаток влаги и способствует получению хороших урожаев [3, 4].

Одним из эффективных способов повышения урожайности сои считают некорневые подкормки, для которых используют растворимые в воде азотные и фосфорные удобрения: мочевину и полифосфат. Некорневые подкормки азотом в смеси с другими элементами питания не угнетают бобоворизобиальный симбиоз и не снижают количество фиксированного азота воздуха [5]. В условиях Чувашской Республики использование хелатных форм микроудобрений марки ЖУСС-2 как для обработки семян, так и для некорневых подкормок обеспечивало получение существенных прибавок урожая сои до 0,5 т/га [6]. Инокуляция растений высокоэффективными штаммами клубеньковых бактерий повышает продуктивность бобовых на 10-25 %, а в новых районах возделывания, где, как правило, отсутствуют спонтанные популяции ризобий,

прибавки могут быть 50-100 % [7]. На темно-серой лесной среднесуглинистой почве Орловской области обработка семян сои препаратом нитрагин на основе штамма 634 более рентабельна, чем внесение минеральных азотных удобрений (416,7 и 311,9 % соответственно) [8], но установлено положительное влияние на увеличение содержания сырого протеина в зерне сои при совместном использовании инокуляции и стартовой дозы минерального азота N30 у сортов Магева и Ланцетная до 38,8-41,1 % [9]. На черноземе типичном среднемощном Белгородской области инокуляция семян соевым нитрагином КМ увеличивала урожайность в среднем на 2,3 ц/га, или 9,1 % (урожайность была в пределах 24,3-30,7 ц/га), тогда как подкормка аммиачной селитрой (2 ц/га) всего на 1,9 % [10]. В этом же регионе раннеспелый сорт сои Ланцетная при широкорядном посеве (30 см) и норме высева 900 тыс. шт/га с внесением минеральных удобрений в дозе N20P20K20 и проведением инокуляции семян обеспечивал наибольшую урожайность зерна (2,60 т/га) [11].

В Республике Узбекистан наибольшая продуктивность сои наблюдалась при использовании инокуляции и азотных удобрений в дозе 60 кг/га на фоне P90 [12]. В условиях юго-запада Центрально-Черноземного региона на черноземе типичном тяжелосуглинистом внесение N30P30K30 повышало урожайность сои на 0,13 т/га по сравнению с вариантом без удобрений (2,49 т/га) [13].

Данные об особенностях минерального питания сои в условиях Мордовии имеются [14, 15], но исследований о влиянии макро- и микроудобрений на фоне известкования на продуктивность и качество зерна сои не проводилось, что и послужило необходимостью изучения данного вопроса на черноземах выщелоченных.

Цель исследований – изучить влияние макро- и микроудобрений на фоне последствий известкования на продуктивность и качество зерна сои на черноземе выщелоченном.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле Мордовского НИИ сельского хозяйства – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудниц-

кого в 2010-2011 гг. в соответствии с планом НИР учреждения на базе стационарного полевого опыта, заложенного в 1972-1973 гг. последовательно в двух полях по методике Б. А. Доспехова¹.

В опыте изучали действие известкования: 1 – без известкования с 1972 г. (контроль); 2 – внесение CaCO_3 по 0.5 гидролитической кислотности (г. к.); 3 – внесение CaCO_3 по 1.0 г. к. На делянках второго порядка оценивали влияние микроудобрений (ЖУСС-2): 1 – без микроудобрений; 2 – $\text{Mo} + \text{Cu}$ в форме жидкого удобрительно-стимулирующего состава (ЖУСС-2). В блоке третьего порядка опыта рассматривали действие различных уровней минерального питания: 1 – без удобрений с 1972 г. (контроль); 2 – P50K80 – фон; 3 – фон + N30 ; 4 – фон + N45 ; 5 – фон + N60 .

Общая площадь делянок первого порядка – $4\,252,5\text{ м}^2$ ($21 \times 202,5\text{ м}$), второго – $2\,126\text{ м}^2$ ($21 \times 101,2\text{ м}$), третьего – $157,5\text{ м}^2$ ($21 \times 7,5\text{ м}$), посевной 75 м^2 ($7,5 \times 10$), учетной 50 м^2 ($5 \times 10\text{ м}$). Повторность в опыте трехкратная, расположение вариантов – рендомизированное, наложение факторов методом расщепленных делянок.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый со следующей агрохимической характеристикой пахотного слоя: гумус (по Тюрину) – 8,2-8,7 %; общий азот (по Кьельдалю) – 0,48-0,50 %; содержание подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) 210 ± 50 мг/кг почвы и 113 ± 14 мг/кг соответственно; $\text{pH}_{\text{кел}}$ – 4,8-5,2; гидролитическая кислотность (по Каппену) – 7,7-9,9 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований (по Каппену-Гильковицу) – 29,8-31,4 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности почвы основаниями – 75-79 %.

Последнее известкование проводили осенью 1999-2000 гг. известняковой мукой ГУП Атемарского завода стройматериалов. Минеральные удобрения в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия вносили вручную под основную обработку почвы в соответствии со схемой опыта. Микроудобрения хелатного типа (ЖУСС-2 –

2,5 л/га) применяли путем опрыскивания посевов в фазу начало цветения сои. Препарат разработан учеными Казанской ГСХА и запатентован в РФ, рег. № 19-8002 (9333)-0309-1 [16].

При возделывании сои применялись приемы агротехники, разработанные для условий Мордовии [17], кроме изучаемых факторов. Предшественник сои – яровая пшеница, после уборки которой проводили лущение стерни поперек рядков на глубину 6-8 см агрегатом МТЗ-82 + БДН-3. Вспашку проводили плугом ПН-4-35 с предплужниками в агрегате с трактором ДТ-5М на глубину 23-25 см в августе – сентябре. Весной проводили боронование зяби агрегатом ДТ-75М + С-11 + 3БЗТ-1.0, две культивации на 8-10 и 6-8 см агрегатом ДТ 75М + КПС-4 с одновременным шлейфованием. Под предпосевную культивацию вносили почвенный гербицид – пивот в количестве 1 л/га агрегатом МТЗ-82 + ОП-2000. Расход рабочей жидкости составлял 260-300 л/га. Посев сои проводили агрегатом МТЗ-82 + СО-4.2 при наборе суммы активных температур более $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, норма высева 550 тыс. всхожих семян на 1 га. Способ посева сои широкорядный с междурядьями 70 см. В опыте высевали сорт сои Магева. Учет урожая проводили методом поделночного обмолота комбайном СК-5 «Нива» с последующим взвешиванием зерновой массы и приведением ее к 14 % влажности и 100 % чистоте.

В течение вегетации проводили две междурядные обработки: первая – в фазу выхода первого тройчатого листа односторонними бритвами на глубину 5-6 см, вторая – в фазу начала ветвления односторонними бритвами плюс стрелчатые лапы на глубину 6-8 см агрегатом МТЗ-82 + КРН-5.6.

Лабораторные исследования, наблюдения и анализы проводили в соответствии с принятыми методиками^{2, 3}. Статистическая обработка данных выполнена методом дисперсионного анализа⁴. Химический состав зерна сои определяли на компьютерно-аналитической системе NIR SCANNER – 4250.

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

²Панников В. Д. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 2. Программа и методы исследования почв. М.: ВИУА, 1983. 172 с.

³Минеев В. Г. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 3. Анализ растений. М.: ВИУА, 1985. 131 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

Результаты и их обсуждение. Вегетационный период сои в 2010 году проходил в условиях сильной атмосферной и почвенной засухи. За период вегетации культуры выпало 63 мм осадков, сумма эффективных температур (выше 10 °C) составила 2694 °C. Гидротермический коэффициент за период вегетации культуры составил 0,35. Особенно остро засушливым был период критического роста растений сои (цветение-налив зерна), когда среднедекадная температура воздуха была выше нормы от 5 до 10 °C, практически отсутствовала продуктивная влага в слое 0-50 см (до 50 мм), что отрицательно сказалось на продуктивности культуры и эффективности изучаемых факторов. Вегетационный период 2011 г. был более благоприятным, чем предыдущий. Гидротермический коэффициент за период вегетации культуры составил 0,96. За период вегетации культуры выпало 193 мм осадков (климатическая норма 193 мм), но

следует отметить неравномерность их выпадения – за июль (период цветения-налив зерна), количество выпавших осадков составило 30 мм, или 43 % от нормы, ГТК – 0,46, что негативно отразилось на урожае культуры. Сумма эффективных температур (выше 10 °C) составила 2 204 °C (климатическая норма 1 904 °C) и практически на протяжении всего вегетационного периода культуры превышала среднеемноголетнюю норму. Сложные погодные условия вегетации снизили эффективность изучаемых факторов.

В результате исследований установлено, что известкование почвы на 11-й год после внесения по полной и половинной гидролитической кислотности не оказало достоверного влияния на урожай сои (табл. 1). Применение хелатной формы микроэлементов (ЖУСС-2) также имело лишь тенденцию на увеличение продуктивности бобовой культуры.

Таблица 1 – Урожайность сои сорта Магева в зависимости от последствий известкования, препарата ЖУСС-2 и минеральных удобрений (в среднем за 2010-2011 гг.), т/га /

Table 1 – The yield of Mageva soy variety depending on the aftereffect of liming, ZhUSS-2 preparation and mineral fertilizers (on average for 2010-2011), t/ha

Вариант / Variant		Без известко- вания (фактор A) - контроль / Without liming (factor A) - control	Известкование (фактор A) / Liming (factor A)		Среднее по фактору / Average over the factor	
микроудобрения (фактор B) / microfertilizers (factor B)	макроудобрения (фактор C) / macrofertilizers (factor C)		по 0,5 г. к. / 0.5 h. a.	по 1.0 г. к. / 1.0 h. a.	C	B
Без микро- удобрений / Without micronutrients	1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	0,87	0,92	0,87	0,89	1,09
	2. P50K80 - фон	0,90	0,99	0,89	0,94	
	3. Фон + N30	1,17	1,19	1,18	1,18	
	4. Фон + N45	1,23	1,25	1,22	1,26	
	5. Фон + N60	1,24	1,27	1,20	1,26	
ЖУСС-2 / ZhUSS-2	1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	0,88	0,92	0,87	-	1,12
	2. P50K80 - фон	0,93	0,98	0,94	-	
	3. Фон + N30	1,22	1,23	1,11	-	
	4. Фон + N45	1,30	1,27	1,28	-	
	5. Фон + N60	1,28	1,30	1,30	-	
Среднее по фактору A / Average over factor A		1,10	1,13	1,09	-	

HCP₀₅ ч.р. 1 / LSD₀₅ ч.р.1 0.37; HCP₀₅ ч.р. 2 / LSD₀₅ ч.р.2 0.44; HCP₀₅ ч.р. 3 / LSD₀₅ ч.р.3 0.12;
HCP₀₅(A) / LSD₀₅(A) 0.12; HCP₀₅(B) / LSD₀₅(B) 0.11; HCP₀₅(C) / LSD₀₅(C) 0.05

Внесение под посевы сои P50K80 способствовало росту сбора зерна на 0,05 т/га, а добавление азота (N30-60) в составе полного минерального удобрения повышало урожайность на 0,29-0,37 т/га. Увеличение уровня азотного питания с 45 до 60 кг д. в. на 1 га

не способствовало достоверному росту продуктивности сои (прибавка 0,37 т/га в обоих вариантах). Более эффективным действие удобрений было в вариантах с обработкой посевов сои препаратом ЖУСС-2, где разница составила от 0,02 до 0,04 т/га.

Оценивая эффективность применения удобрений, установлено, что агрохимическая окупаемость фосфорно-калийных удобрений наибольшей была на фоне известкования по 0,5 г. к. без обработки ЖУСС-2 и на фоне

известкования по 1,0 г. к. с обработкой препаратом (по 0,54 кг зерна сои на 1 кг д. в. удобрений). В вариантах с обработкой микроэлементами окупаемость 1 кг д. в. данного удобрения зерном была больше на 0,15 кг (табл. 2).

Таблица 2 – Окупаемость минеральных удобрений урожаем зерна сои сорта Магева в зависимости от изучаемых факторов /

Table 2 – Payback of mineral fertilizers by the yield of Mageva soybean grain depending on the studied factors

Удобрение / Fertilizers	Урожайность в контроле и прибавка, ц/га / Yield under control and increase in c/ha				Окупаемость 1 кг д. в. удобрений в кг зерна / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers in 1kg of grain			
	без микро- удобрений / without micronutrients	ЖУСС-2/ ZhUSS-2	без микро- удобрений / without micronutrients	ЖУСС-2/ ZhUSS-2	без микро- удобрений / without micronutrients	ЖУСС-2/ ZhUSS-2	без микро- удобрений / without micronutrients	ЖУСС-2/ ZhUSS-2
Без известкования (контроль) / Without liming (control)								
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	8,7	8,7	8,8	8,8	-	-	-	-
2. P50K80 - фон	0,3	-	0,5	-	0,23	-	0,38	-
3. Фон + N30	-	2,7	-	2,9	-	9,00	-	9,67
4. Фон + N45	-	3,3	-	3,7	-	7,33	-	8,22
5. Фон + N60	-	3,4	-	3,5	-	5,67	-	5,83
Известкование по 0,5 г. к. / Liming 0.5 h. a.								
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	9,2	9,2	9,2	9,2	-	-	-	-
2. P50K80 - фон	0,7	-	0,6	-	0,54	-	0,46	-
3. Фон + N30	-	2,0	-	2,5	-	6,67	-	8,33
4. Фон + N45	-	2,6	-	2,9	-	5,78	-	6,44
5. Фон + N60	-	2,8	-	3,2	-	4,67	-	5,33
Известкование по 1,0 г. к. / Liming 1.0 h. a.								
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	8,7	8,7	8,7	8,7	-	-	-	-
2. P50K80 - фон	0,2	-	0,7	-	0,15	-	0,54	-
3. Фон + N30	-	2,9	-	1,7	-	9,67	-	5,67
4. Фон + N45	-	3,3	-	3,4	-	7,33	-	7,56
5. Фон + N60	-	3,1	-	3,6	-	5,17	-	6,00

При внесении по фосфорно-калийному фону дозы азота 30 кг д. в. на 1 га получено 8,17 кг зерна сои на 1 кг д. в. азота, с увеличением дозы до 45 и 60 кг окупаемость азота снижалась до 7,11 и 5,44 кг зерна соответственно. Максимальная окупаемость 1 кг д. в. азотного удобрения (9,67 кг зерном) получена при внесении N30 в составе полного минерального удобрения на фоне без известкования с некорневой обработкой посевов и на фоне известкования по 1,0 г.к. без применения препарата. В вариантах с использованием хелатной формы микроэлементов окупаемость 1 кг д. в. азотного удобрения выше на 0,2 кг зерна. В вариантах на фоне известкования по 1,0 г. к. на 1 кг д. в. азота получено 6,9 кг зерна, что больше на 0,7 кг, чем

на фоне известкования по 0,5 г. к., но меньше, чем на фоне без известкования.

Среди зерновых бобовых культур зерно сои выделяется, прежде всего, высоким содержанием белка и жира, что очень важно как для организма человека, так и животных. Зерно сои с наименьшим содержанием сырого протеина (в среднем 34,37 %) получено в варианте без удобрений (табл. 3). Минеральные удобрения по сравнению с контролем существенно повышали содержание белка в семенах сои: на фоне без известкования – на 1,77 %, на произвесткованном по 0,5 и 1,0 г.к. – на 2,47 и 1,82 %, непосредственно от азотных удобрений белковость зерна возрастала на 0,84-4,00 %, 1,48-3,24 и 1,15-4,03 % соответственно.

Таблица 3 – Качество зерна сои сорта Мажева в зависимости от последействия известкования, препарата ЖУСС-2 и минеральных удобрений (в среднем за 2010-2011 гг.)

Table 3 – The quality of soybean grain of the Mageva variety depending on the aftereffect of liming, ZhUSS-2 preparation and mineral fertilizers (on average for 2010-2011)

Удобрение (фактор C) / Fertilizers (factor C)	Без известкования (фактор A) / Without liming (factor A)		Известкование (фактор A) / Liming (Factor A)			
			по 0,5 г. к. / 0.5 h. a.		по 1,0 г. к. / 1.0 h. a.	
	без микро- удобрений (фактор B) / without micronu- trients (factor B)	ЖУСС-2 (фактор B) / ZhUSS-2 (factor B)	без микро- удобрений (фактор B) / without micronu- trients (factor B)	ЖУСС-2 (фактор B) / ZhUSS-2 (factor B)	без микро- удобрений (фактор B) / without micronu- trients (factor B)	ЖУСС-2 (фактор B) / ZhUSS-2 (factor B)

Содержание протеина, % / Protein content, %

1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	34,33	34,28	34,45	34,60	34,18	34,38
2. P50K80 - фон	34,44	34,36	35,05	35,42	34,10	34,44
3. Фон + N30	35,11	35,36	36,58	36,86	35,32	35,52
4. Фон + N45	36,13	36,37	37,50	37,56	36,18	36,64
5. Фон + N60	38,32	38,49	38,43	38,54	38,27	38,32

HCP₀₅ ч.п.1 / LSD₀₅ ch.r.1 1,06; HCP₀₅ ч.п. 2 / LSD₀₅ ch.r.2 0,60; HCP₀₅ ч.п. 3 / LSD₀₅ ch.r. 3 0,54;
HCP₀₅ (A) / LSD₀₅ (A) 0,34; HCP₀₅ (B) / LSD₀₅ (B) 0,16; HCP₀₅ (C) / LSD₀₅ (C) 0,22

Содержание жира, % / Fat content, %

1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	19,54	19,52	19,45	19,50	19,50	19,52
2. P50K80 - фон	19,52	19,60	19,34	19,38	19,52	19,42
3. Фон + N30	18,94	18,98	18,89	19,00	18,96	19,03
4. Фон + N45	18,94	19,02	18,74	18,96	18,68	18,94
5. Фон + N60	18,92	19,00	18,78	18,98	18,72	18,92

HCP₀₅ ч.п.1/ LSD₀₅ ch.r.1 1,28; HCP₀₅ ч.п.2/ LSD₀₅ ch.r.2 0,80; HCP₀₅ ч.п.3/ LSD₀₅ ch.r.3 0,43;
HCP₀₅ (A)/ LSD₀₅ (A) 0,40; HCP₀₅(B)/ LSD₀₅ (B) 0,21; HCP₀₅(C)/ LSD₀₅(C) 0,18

В среднем по опыту известкование почвы по половинной гидролитической кислотности достоверно повышало концентрацию сырого протеина в зерне сои (прибавка 0,79 % к фону; без известкования 35,71 %). Обработка посевов сои микроэлементами способствовала росту количества протеина в зерне на 0,19 % (без обработки препаратом 35,89 %). При внесении полного минерального удобрения отмечено повышение белковости зерна на 1,16-3,76 % при одновременном снижении содержания в нем сырого жира на 0,53-0,62 % (по сравнению с контрольным вариантом 34,37 и 19,50 % соответственно). Концентрация сырого жира не претерпела существенных изменений на фоне известкования и внекорневой обработки посевов культуры микроэлементами.

Сбор белка с 1 га соевого поля составил от 303,8 кг (контроль) до 485,7 кг в варианте фон + N60, жира от 173,3 до 238,9 кг/га соответственно. В вариантах с использованием ЖУСС-2 было собрано больше: протеина на фоне без известкования на 15,9 кг/га, произведенном по 0,5 и 1,0 г. к. на 8,2 и 13,1 кг/га; жира соответственно на – 8,2, 12,7 и 6,5 кг/га. Если увеличение сбора протеина происходило за счет повышения его содержания в зерне и роста урожайности, то жира только благодаря повышению урожая бобов сои.

Заключение. Известкование чернозема выщелоченного не оказало влияния на величину урожайности сои, но существенно повлияло на качество зерна, повысив содержание сырого протеина на 0,79 абс. %. Внесение минеральных удобрений сопровождалось увеличением

урожайности и белковости зерна сои на 0,05-0,37 т/га и 0,26-4,02 абс. % соответственно и снижением количества сырого жира на 0,04-0,62 абс. %. В вариантах с обработкой посевов сои препаратом ЖУСС-2 содержание сырого протеина было больше на 0,19 абс. %, а сбор белка и жира на 12,4 и 9,1 кг/га. Таким

образом, под посевы сои сорта Магева (с учетом неблагоприятных погодных условий) на черноземе выщелоченном можно рекомендовать внесение минеральных удобрений в дозах N30P50K80 и N45P50K80 с обработкой посевов препаратом ЖУСС-2, что способствует получению качественного зерна культуры.

Список литературы

1. Дозоров А. В., Гаранин М. Н. Влияние активизации симбиотической деятельности на формирование урожайности зернобобовых культур. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2012 4(20): 4-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20682064>
2. Бейч А. В. Перспектива производства сои в Западной Сибири. Земледелие. 2003;(3):24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18257182>
3. Helson W. L. Soybean production summing up/World Soybean Research 1976; P. 999-1008.
4. Whitney D. A. Fertility Neels/ Soydean Yfdbook. 1976;(449):9-10.
5. Посыпанов Г. С., Рухадзе В. Н. Формирование и активность симбиотического аппарата сои при использовании азотных, фосфорных удобрений и некорневых подкормок ЖКУ в условиях Восточной Грузии. Известия ТСХА, 1987. Вып. 2. С. 44-49. Режим доступа: http://library.timacad.ru/files/izvestija_tsha/fulltext/1987-1/index.html#/50/
6. Казанцев В. П., Кузнецов А. И. Влияние некорневого внесения микроудобрений марки ЖУСС на формирование клубеньков и урожайность сои. Вестник Казанского ГАУ, 2010; 3(17): 113-115. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15198234>
7. Васильчиков А. Г., Акулов А. С. Повышение продуктивности сои путем усиленной симбиотической азотфиксации. Земледелие. 2016;(4):14-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34235609>
8. Гурьев Г. П., Васильчиков А. Г., Наумкин В. В. Сравнительное изучение симбиотической азотфиксации у гороха и сои. Земледелие. 2016;(5):17-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34254457>
9. Головина Е. В., Зотикова В. И., Зайцев В. Н., Кирсанова Е. В. Накопление сырого протеина и сырого жира растениями сортов сои северного экотипа. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(3 (19)):62-69. Режим доступа: <https://journal.vniizbk.ru/ru/backup/31--q-q-3-2016.html>
10. Оразова И. В., Муравьев А. А. Показатели продуктивности сортов сои в зависимости от инокуляции семян и азотного удобрения. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(4):34-37. Режим доступа: <http://agroapk.ru/2018-g/126-archive/04-2018/2501-04-2018>
11. Котлярова О. Г., Лактионов П. А. Влияние способов посева, норм высева и минеральных удобрений на кормовую продуктивность сои. Кормопроизводство. 2010;(1):20-23. Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33387785>
12. Ерматова Д., Рахимова Х. М., Ибрагимова С. У. Рост и развитие сои при совместном внесении азотных удобрений с инокуляцией. Молодой ученый. 2018;(17 (203)):148-149. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/203/>
13. Turyanskiy A. V., Grigorov O. V., Kulkov S. S. Conditions for Soybean Productivity Formation Depending on the Elements of Organic Farming Systems/ Dostizheniya nauki i tekhniki APK 2017;(10(31)):57-61. Режим доступа: <http://agroapk.ru/year-2017/114-archive/10-2017/2246-10-2017>
14. Смолин Н. В. Влияние средств химизации и соломы на баланс гумуса в зерновом севообороте на черноземе выщелоченном. Агрохимия. 1998;(1):21-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33827351>
15. Прокина Л. Н., Моисеев А. А. Продуктивность сои в условиях юга Нечерноземной зоны. Зерновое хозяйство России. 2011;(2 (14)):23-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33666167>
16. Гайсин И. А., Хисамеева Ф. А. Полифункциональные хелатные микроудобрения. Казань: Изд. дом «Меддок», 2007. 230 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19511332>
17. Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовии: методическое руководство. Под ред. А. М. Гурьянова. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2003. С. 281-286.

References

1. Dozorov A. V., Garanin M. N. *Vliyanie aktivizatsii simbioticheskoy deyatel'nosti na formirovanie urozhaynosti zernobobovykh kul'tur*. [Influence of symbiotic activity activation on the formation of leguminous crops productivity]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2012 4(20):4-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20682064>
2. Beych A. V. *Perspektiva proizvodstva soi v Zapadnoy Sibiri*. [Perspective of soy production in Western Siberia] *Zemledelie*. 2003;(3):24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18257182>
3. Helson W. L. Soybean production summing up/World Soybean Research 1976; P. 999-1008.
4. Whitney D. A. Fertility Neels/ Soydean Yfdbook. 1976;(449):9-10.

5. Posypanov G. S., Rukhadze V. N. *Formirovanie i aktivnost' simbioticheskogo apparata soi pri ispol'zovanii azotnykh, fosfornykh udobreniy i nekornevykh podkormok ZhKU v usloviyakh Vostochnoy Gruzii*. [Formation and activity of the soy symbiotic apparatus using nitrogen, phosphorous fertilizers and non-root fertilizing of housing and communal services in Eastern Georgia]. *Izvestiya TSKhA = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 1987;(2):44-49. (In Russ.). URL: http://library.timacad.ru/files/izvestiya_tsha/fulltext/1987-1/index.html#/50/
6. Kazantsev V. P., Kuznetsov A. I. *Vliyanie nekorneвого vneseniya mikroudobreniy marki ZhUSS na formirovanie kluben'kov i urozhaynost' soi*. [Influence of non-root application of ZHUSS micro-fertilizers on the formation of nodules and soybean yield]. *Vestnik Kazanskogo GAU = Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2010; 3(17): 113-115. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15198234>
7. Vasil'chikov A. G., Akulov A. S. *Povyshenie produktivnosti soi putem usilennoy simbioticheskoy azotfikatsii*. [Increasing soybean productivity through enhanced symbiotic nitrogen fixation]. *Zemledelie*. 2016;(4):14-16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34235609>
8. Gur'ev G. P., Vasil'chikov A. G., Naumkin V. V. *Sravnitel'noe izuchenie simbioticheskoy azotfikatsii u gorokha i soi*. [Comparative study of symbiotic nitrogen fixation in peas and soybeans]. *Zemledelie*. 2016;(5):17-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=34254457>
9. Golovina E. V., Zotikova V. I., Zaytsev V. N., Kirsanova E. V. *Nakoplenie syrogo proteina i syrogo zhira rasteniyami sortov soi severnogo ekotipa*. [The accumulation of crude protein and crude fat in soybean plants of Northern ecotype varieties]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2016;(3 (19)):62-69. (In Russ.). URL: <https://journal.vniizbk.ru/ru/backup/31--q-q-3-2016.html>
10. Orazava I. V., Murav'ev A. A. *Pokazатели produktivnosti sortov soi v zavisimosti ot inokulyatsii semyan i azotnogo udobreniya*. [Productivity indicators of soybean varieties depending on seed inoculation and nitrogen fertilizer]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;32(4):34-37. (In Russ.). URL: <http://agroapk.ru/2018-g/126-archive/04-2018/2501-04-2018>
11. Kotlyarova O. G., Laktionov P. A. *Vliyanie sposobov poseva, norm vyseva i mineral'nykh udobreniy na kormovuyu produktivnost' soi*. [Influence of seeding methods, seeding rates and mineral fertilizers on soybean feed productivity]. *Kormoproizvodstvo = Fodder Production*. 2010;(1):20-23. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33387785>
12. Ermatova D., Rakhimova Kh. M., Ibragimova S. U. *Rost i razvitie soi pri sovmestnom vnesenii azotnykh udobreniy s inokulyatsiyey*. [Growth and development of soy in the joint application of nitrogen fertilizers with inoculation]. *Molodoy uchenyy*. 2018;(17 (203)):148-149. (In Russ.). URL: <https://moluch.ru/archive/203/>
13. Turyanskiy A. V., Grigorov O. V., Kulkov S. S. *Conditions for Soybean Productivity Formation Depending on the Elements of Organic Farming Systems/ Dostizheniya nauki i tekhniki APK* 2017;(10(31)):57-61. URL: <http://agroapk.ru/year-2017/114-archive/10-2017/2246-10-2017>
14. Smolin N. V. *Vliyanie sredstv khimizatsii i solomy na balans gumusa v zernovom sevooborote na chernozeme vyshchelochennom*. [Influence of chemicals and straw on the balance of humus in grain crop rotation on leached chernozem]. *Agrokhimiya = Eurasian Soil Science*. 1998;(1):21-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33827351>
15. Prokina L. N., Moiseev A. A. *Produktivnost' soi v usloviyakh yuga Nechernozemnoy zony*. [Soybean productivity in the south of the non-Chernozem zone. Grain economy of Russia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2011;(2 (14)):23-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33666167>
16. Gaysin I. A., Khisameeva F. A. *Polifunktsional'nye khelatnye mikroudobreniya*. [Multifunctional chelated micronutrients]. *Kazan': Izd. dom «Meddok»*, 2007. 230 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19511332>
17. *Adaptivnye tekhnologii vozdel'yvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Respubliki Mordovii: metodicheskoe rukovodstvo*. [Adaptive technologies of cultivation of agricultural crops in the Republic of Mordovia: methodological guide]. Pod red. A. M. Gur'yanova. Saransk: *Izd-vo Mordovskogo un-ta*, 2003. pp. 281-286.

Сведения об авторе

✉ **Прокина Людмила Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р. п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Information about the author

✉ **Lyudmila N. Prokina**, PhD in Agricultural science, leading researcher, head of the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga settlement, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>
УДК 577.15:664.2



Ферментативный гидролиз экструдированного кукурузного крахмала в условиях высокой концентрации среды

© 2020. А. Ю. Шариков✉, М. В. Амелякина, В. В. Иванов,
Д. В. Поливановская

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

Одним из направлений технологического развития процессов биоконверсии крахмалсодержащего сырья в пищевой промышленности является повышение концентраций перерабатываемых жидких сред, что способствует снижению операционных издержек, тепло- и энергозатрат и повышает эффективность использования емкостного оборудования. Перспективным является внедрение в процессы биоконверсии термопластической экструзии как стадии предподготовки, обеспечивающей интенсивную клейстеризацию крахмала при влажосодержании 15-30 %, что стало предпосылкой к разработке экструзионно-гидролитической технологии получения концентрированных гидролизатов крахмалсодержащего сырья. В рамках развития технологии проведены исследования влияния основных факторов биокатализа на образование продуктов гидролиза и реологические свойства высококонцентрированных гидролизатов экструдатов кукурузного крахмала. В качестве исследуемых управляющих факторов были приняты дозировка термостабильной α -амилазы и концентрация среды. Уровни варьирования факторами были установлены в интервале 5-13 ед. АС/г крахмала, концентрация сухих веществ 40-60 % в соответствии с планом центрального ортогонального композиционного планирования эксперимента. Значение декстрозного эквивалента в области исследуемого факторного пространства изменялось от 23 до 40, динамическая вязкость от 89 до 2219 мПа·с. Анализ результатов и математической модели показал, что увеличению декстрозного эквивалента в продуктах гидролиза способствует снижение концентрации среды и повышение дозировки α -амилазы, при этом динамика прироста значения декстрозного эквивалента падает с превышением дозировки ферментного препарата 9 ед. АС/г крахмала. Реологические исследования показали, что дозировка α -амилазы 1-13 ед. АС/г крахмала при 40 % концентрации среды обеспечивает достаточные для последующих стадий переработки гидролизата значения динамической вязкости 89-780 мПа·с. Увеличение концентрации до 50-60 % требует внесения α -амилазы более 5 ед. АС/г крахмала для обеспечения реологически безопасного технологического процесса.

Ключевые слова: экструдирование, крахмал, мальтодекстрин, фермент, гидролиз, высокие концентрации, математическая модель

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шариков А. Ю., Амелякина М. В., Иванов В. В., Поливановская Д. В. Ферментативный гидролиз экструдированного кукурузного крахмала в условиях высокой концентрации среды. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(4):425-433. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>

Поступила: 23.04.2020

Принята к публикации: 18.06.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Enzymatic hydrolysis of high gravity extruded corn starch media

© 2020. Anton Yu. Sharikov✉, Mariya V. Amelyakina, Viktor V. Ivanov,
Dar'ya V. Polivanovskaya

Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

Increase of solubles concentration in processable liquid media is one of the trends of technological development of starchy materials bioconversion. It promotes the reduction in operating costs, in heat and energy consumption and increases the efficiency of using capacitive equipment. The use of thermoplastic extrusion in the bioconversion processes as a pre-

treatment stage is perspective. Extrusion provides intensive gelatinization of starch with a moisture content of 15-30 % that has become a prerequisite for the development of extrusion-hydrolytic technology for obtaining of concentrated hydrolysates from starch-containing raw materials. As a part of the technology development, the effect of the key factors of biocatalysis on the formation of hydrolysis products and the rheological properties of highly concentrated hydrolysates of corn starch has been studied. The dosage of thermostable α -amylase and the concentration of the medium were taken as independent variables. The ranges of variation of the factors were set in the range of 5-13 units of amylolytic activity per 1 g of starch and 40-60 % soluble concentration in accordance with the central orthogonal second-order design of the experiment. The value of dextrose equivalent in the area of the studied factor space varied from 23 to 40. Dynamic viscosity values were in the range from 89 to 2219 mPa-s. The analysis of the results and the mathematical model showed that an increase in the dextrose equivalent in the hydrolysis products was facilitated by a decrease of the concentration of the medium and an increase in the dosage of α -amylase. The growth dynamics of the dextrose equivalent value decreased with an excess of the dosage of the enzyme preparation of 9 units of amylolytic activity per 1 g of starch. Rheological studies have shown that a dosage of α -amylase of 1-13 units of amylolytic activity per gram of starch at 40 % concentration of the medium provided dynamic viscosity values in the range 89-780 mPa-s, which is sufficient for the subsequent stages of hydrolyzate processing. Increasing the concentration to 50-60 % requires the introduction of α -amylase at a dosage of more than 5 units of amylolytic activity to ensure a rheologically safe process.

Keywords: extrusion, starch, maltodextrin, enzyme, hydrolysis, high concentrations, mathematical model

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

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

For citation: Sharikov A. Yu., Amelyakina M. V., Ivanov V. V., Polivanovskaya D. V. Enzymatic hydrolysis of high gravity extruded corn starch media. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):425-433. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>

Received: 23.04.2020

Accepted for publication: 18.06.2020

Published online: 24.08.2020

Крахмалсодержащее сельскохозяйственное сырье является важной составляющей рациона питания человека. Кроме того, продукты химической и ферментативной модификации крахмала широко используются как функциональные и пищевкусовые добавки в пищевой промышленности в виде гидролизатов, глюкозных сиропов, фруктозы, мальто- и циклодекстринов, модифицированных крахмалов.

Ферментативный гидролиз крахмала включает три этапа: клейстеризацию, разжижение и осахаривание амилолитическими ферментными препаратами. Клейстеризация необходима для повышения доступности субстрата действию ферментов и ускорения процесса гидролиза [1, 2]. Во время разжижения с использованием α -амилазы вязкость реакционной смеси снижается, и клейстеризованный крахмал частично гидролизуетсся с образованием продуктов с декстрозным эквивалентом, который варьирует в диапазоне от 15 до 30. Во время осахаривания частично гидролизованные крахмальные цепи расщепляются на глюкозу, мальтозу, мальтотриозу, и некоторые высшие олигомеры. Декстрозный эквивалент получаемого продукта варьируется от 40 до 98 в зависимости от используемого фермента [3].

Значительное место в валовом объеме продуктов ферментативной модификации крахмала занимают мальтодекстрины, выполняющие роль нейтральных носителей вкусовых

добавок, наполнителей и углеводных компонентов, регуляторов реологических свойств и сладости, заменителей жира.

В промышленности клейстеризацию и разжижение часто проводят одновременно, добавляя термостабильную α -амилазу к суспензии крахмала перед клейстеризацией с использованием трубчатых разварников [2, 4]. Концентрация крахмала во время этого процесса ограничена 30-35 % [4], ввиду усложнения реологических условий перемещения крахмалистых сред в системах разваривания и технологических трубопроводов. По разработанным технологиям получения мальтодекстринов из кукурузной муки или кукурузного крахмала процесс получения гидролизата крахмала ведут в несколько стадий путем 40 минутной термической обработки при температуре 90-95 °C в присутствии термостабильного ферментного препарата α -амилазы и последующей обработкой при повышенной температуре 105 °C в течение 10 мин [5]. Последовательно осуществляют вторую стадию декстринизации суспензии при температуре 95 °C в течение 60-120 мин. Для увеличения производительности по готовому продукту проводят процесс упаривания на выпарном аппарате для повышения концентрации сухих веществ в полученном гидролизате до уровня 45-50 % с сохранением необходимого показателя вязкости для распылительной сушки получаемого

продукта [6]. В результате исследований [7] по получению сиропа мальтодекстрина из пшеничной муки были установлены оптимальные значения факторов процесса разжижения: концентрация суспензии муки не более 24,4 %, дозировка α -амилазы – 0,5 ед. АС/г, продолжительность гидролиза не менее 62 мин.

Анализируя технологические процессы существующих технологий получения мальтодекстринов, следует отметить основные недостатки: многостадийность процесса; продолжительность; невозможность получения высоких концентраций гидролизатов крахмалистого сырья в связи с резким повышением их вязкости, что снижает производительность используемого оборудования и требует дополнительных операций и материальных затрат по повышению их концентрации. Вместе с тем, повышение концентрации крахмала в суспензии в процессе клейстеризации и ферментативного гидролиза потенциально позволяет повысить производственную мощность [4], обеспечить стабильность фермента [8], снизить затраты тепло- и электроэнергии [9].

Альтернативным способом клейстеризации и гидролиза крахмала является использование термопластической экструзии как стадии предподготовки сырья или непосредственно биокатализа с использованием экструдера как биореактора [10]. В последнем варианте, в связи с кратким временем обработки, даже при наличии термостабильной α -амилазы эквивалентное значение декстрозного эквивалента экструдатов обычно остается низким, менее 2-5 [11].

При экструзии кукурузного крахмала показано [12], что экструзия при более низком содержании воды усиливает клейстеризацию крахмала, что связано с более высоким напряжением сдвига на участке реверсивных шнековых элементов, соответственно повышенным тепловыделением и механическим разрушением гранул биополимера. Значимый эффект дозирования воды и термостабильной α -амилазы ферментного препарата на степень клейстеризации, растворимость, декстрозный эквивалент экструдатов показан и в работе [13] при экструдировании крахмала саго с концентрацией фермента 1,48-6,52 %, воды 21-38 % и температурой в предматричной зоне 70,0-97,5 °С. Значение декстрозного эквивалента в зависимости от режима варьировало в диапазоне 0,3-10,4, доминирующими продуктами гидро-

лиза были олигосахариды с 3, 5 и 6 единицами глюкозных остатков. Внесение глюкоамилазы [14] в предматричные зоны камеры экструдера с последующей экспозицией в течение 8 часов позволили получить образцы с декстрозным эквивалентом 83-98.

Использование экструзии в вышеприведенных примерах исследований позволяет значительно повысить концентрацию перерабатываемых сред и объединить в одном реакторе стадии клейстеризации и разжижения крахмала в процессе его декстринизации. Но такое совмещение процессов может нести в себе и риски нестабильных режимов работы экструдера, так как сразу несколько факторов влияют на реологическое состояние субстрата в камере. Резкие перепады вязкости могут вызвать нестабильное течение расплава сырья, аварийную остановку и в случае быстрой потери влаги затвердение гидролизованной массы в камере экструдера, что потребует значительных усилий для очистки шнеков, камеры и возвращения оборудования в рабочее состояние.

Альтернативным решением является использование экструдера для стадии клейстеризации крахмала, а гидролиз осуществлять в реакторе, соединенном с экструдером в одну систему [9, 15, 16]. Разработанный экструзионно-гидролитический способ получения гидролизатов [15, 16] основан на принципе инжекции раствора ферментного препарата в область выхода экструдата через отверстия фильтры через специальный гидролитический узел, соединяющий экструдер с трубчатым реактором. Такое техническое решение позволяет значительно повысить концентрацию получаемых гидролизатов крахмала, при этом значительно упростить аппаратно-технологическую схему и интенсифицировать процесс переработки. При этом решается проблема растворения высокопористых гранул экструдатов. Актуальным в контексте разработки отдельных аспектов данной технологии является определение степени влияния некоторых технологических параметров процесса на качественные характеристики продуктов гидролиза.

Цель исследования – изучение процесса гидролиза экструдатов кукурузного крахмала с получением мальтодекстринов в условиях предельно высоких концентраций крахмала, влияния концентрации субстрата в гидролизатах и дозировки ферментного препарата на декстрозный эквивалент конечных продуктов биокатализа.

Материал и методы. Объектом исследования являлся кукурузный крахмал по ГОСТ 32159-2013¹. В качестве биокатализатора использовали термостабильную бактериальную α -амилазу активностью 1900 ед. АС/см³, которую определяли методом количественного определения прогидролизованного в стандартных условиях в течении 10 минут крахмала². За единицу амилолитической активности в ед. АС/см³ принимали количество фермента, которое при температуре 30 °С за 10 мин катализировало гидролиз 1 г крахмала до декстринов различной молекулярной массы, что составляет 30 % крахмала, введенного в реакцию. Количество прогидролизованного крахмала определяли колориметрическим методом по степени окраски остаточного крахмала раствором йода.

Крахмал экструдировали на модернизированном двухшнековом экструдере Werner & Pleiderer Continia-37M с диаметром шнеков 37 мм и относительной длиной зоны экструзии 27 м/м. Температура и давление экструзии составляли 195 °С и 2,8 МПа, скорость враще-

ния шнеков 250 об/мин. Доувлажнение крахмала производили до значения 15 % непосредственно в камере экструдера путем непрерывного дозирования воды штатным насосом в требуемых пропорциях.

Содержание влаги в сырье, гидролизатах и образцах мальтодекстрина определяли гравиметрическим методом³ с использованием анализатора влажности ML-50 (A&D, Япония).

Проведение исследований ферментативного гидролиза экструдатов осуществляли в термостатированной емкости с перемешивающим устройством при частоте перемешивания 150 об/мин, при температуре 90 °С без оптимизации pH, т. е. при естественном pH водной суспензии экструдированного крахмала.

Дизайн исследования был основан на методе ортогонального композиционного планирования эксперимента⁴, в котором в качестве управляющих факторов были приняты концентрация сухих веществ в гидролизате и дозировка термостабильной α -амилазы. Уровни варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Реальные и кодированные значения управляющих факторов / Table 1 – Real and coded values of controlling factors

Кодированные значения / Coded values	Реальные значения / Real values	
	концентрация сухих веществ, % / solubles concentration, %	дозировка α -амилазы, ед. АС/г крахмала / dosage of α -amylase, units of amylolytic activity per 1 g of starch
- α	40,0	5
-1	40,0	5
0	50,0	9
1	60,0	13
A	60,0	13

Выходными параметрами являлись декстрозный эквивалент высушенного гидролизата и динамическая вязкость гидролизата по истечении 1 часа гидролиза.

Сушка полученных гидролизатов осуществлялась в термостатированном шкафу до влажности 4-5% с последующим измель-

чением. Декстрозный эквивалент определяли по ГОСТ Р 50549-93⁵. Анализ реологических свойств гидролизованных сред проводили методом вибрационной вискозиметрии⁶ с использованием вискозиметра SV-10 (A&D, Япония) на момент окончания гидролиза при температуре 90 °С.

¹ГОСТ 32159-2013. Крахмал кукурузный. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 2013. 12 с.

²ГОСТ Р 54330-2011. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности (издание 2018 г. с изменениями № 1, 2, поправкой). М.: Стандартинформ, 2018. 22 с.

³ГОСТ Р 55802-2013. Крахмал. Методы определения влаги (Переиздание). М.: Стандартинформ, 2014. 8 с.

⁴Lazic Z. R. Design of Experiments in Chemical Engineering. A Practical Guide. WILEY-VCH Verlag. Weinheim. Germany. 2004. pp. 323-349. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/3527604162>

Исследования проведены в двух повторностях. Достоверность различий средних проводили методом дисперсионного анализа с применением апостериорного анализа по критерию Тьюки при $p < 0,05$ с использованием пакета программ Statistica 6.0. Статистическую обработку результатов измерения, расчет коэффициентов математической модели ортогонального композиционного плана, проверку значимости коэффициентов уравнения по критерию Стьюдента и адекватность модели по критерию Фишера осуществляли с применением программы Scilab 5.5 (Scilab Enterprises, Франция) при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Эксперимент был реализован в соответствии с планом центрального ортогонального композиционного планирования эксперимента для двух факторов. Уровни варьирования факторами были установлены в интервале 5-13 ед. АС/г крахмала для дозировки ферментного препарата, концентрация сухих веществ 40-60 %. Такие концентрации были значительно выше стандартного для гидролиза крахмала содержания сухих веществ 30-35 %. Тем не менее, полученные гидролизаты экструдированного крахмала сохраняли способность к перемешиванию и текучесть, что подтверждается данными вискозиметрии. В таблице 2 представлены результаты реализации ортогонального композиционного плана эксперимента. Результаты эксперимента, дополненные данными по гидролизу в аналогичных условиях при гидролизе ферментным препаратом в дозировке 1 ед. АС/г крахмала сред с концентрацией 40 и 50 % сухих веществ, показали наличие сильной положительной корреляционной связи между дозировкой термостабильной α -амилазы и декстрозным эквивалентом (0,87). В отношении динамической вязкости наблюдались средние положительная (0,61) и отрицательная (-0,46) связи с факторами концентрации среды и дозировки ферментного препарата.

Методом ортогонального композиционного планирования была получена адекватная математическая модель, описывающая зависимость декстрозного эквивалента от дозировки ферментного препарата и концентрации среды:

$$DE = 53,5 - 1,3375 \cdot c + 1,55 \cdot f - 0,04375 \cdot c \cdot f + 0,0153 \cdot c^2 + 0,0977 \cdot f^2,$$

где DE – декстрозный эквивалент, c – концентрация сухих веществ в гидролизате, f – дозировка ферментного препарата, ед. АС/г крахмала.

Таблица 2 – Влияние концентрации среды и дозировки ферментного препарата на образование продуктов гидролиза и динамическую вязкость гидролизата / Table 2 – The effect of the medium concentration and the dosage of the enzyme preparation on the formation of hydrolysis products and the dynamic viscosity of the hydrolysate

Концентрация сухих веществ, % / Solubles concentration, %	Дозировка α -амилазы, ед. АС/г крахмала / Dosage of α -amylase, units of amylolytic activity per 1 g of starch	Декстрозный эквивалент / Dextrose equivalent	Динамическая вязкость, мПа·с / Dynamic viscosity, mPa·s
40	5	27	107
40	9	30	89
40	13	40	110
50	5	23	458
50	9	27	415
50	13	31	335
60	5	26	2219
60	9	27	1752
60	13	32	1105

⁵ГОСТ Р 50549-93 (ИСО 5377-81). Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнона. М.: Издательство стандартов, 1993. 11 с.

⁶Sharma H. S. S., Carmichael E., Muhamad M., McCall D., Andrews F., Lyons G., McRoberts W. C., Hornsby P. R. Biorefining of perennial ryegrass for the production of nanofibrillated cellulose. RSC Adv. 2012;2(16):6424-6437. URL: <https://doi.org/10.1039/C2RA20716H>

Данные по результатам гидролиза не позволили получить аналогичные адекватные модели со значимыми коэффициентами для динамической вязкости гидролизатов. Графическая интерпретация полученной

модели представлена на рисунке 1. Характер линий равного уровня показывает, что основное влияние на изменение декстрозного эквивалента оказывает дозировка амилолитического ферментного препарата.

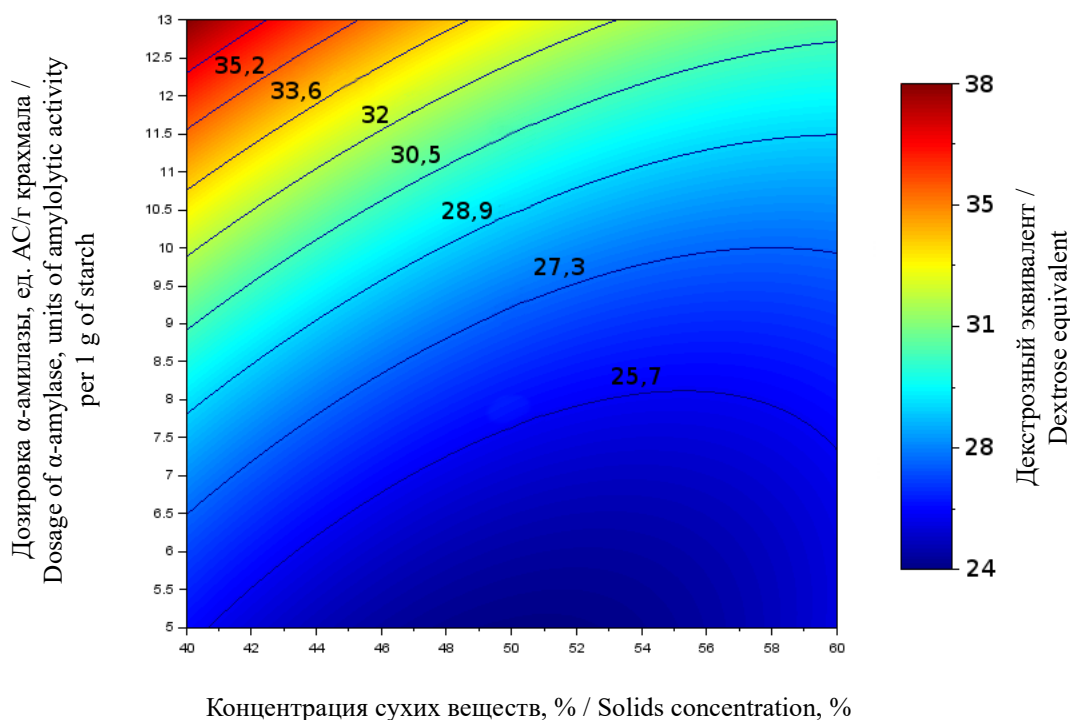


Рис. 1. Декстрозный эквивалент как функция концентрации сухих веществ в гидролизате и дозировки ферментного препарата /

Fig. 1. Dextrose equivalent as a function of the concentration of solubles in the hydrolysate and the dosage of the enzyme preparation

При этом динамика прироста значения декстрозного эквивалента падает с превышением дозировки ферментного препарата 9 ед. АС/г крахмала. Увеличение концентрации среды негативно влияет на значение декстрозного эквивалента, видимо, вследствие менее интенсивного массообмена в условиях повышения вязкости с ростом сухих веществ в гидролизате. При постоянной дозировке фермента с повышением концентрации среды декстрозный эквивалент получаемого продукта из экструдированного крахмала снижался на 10,0-22,5 %.

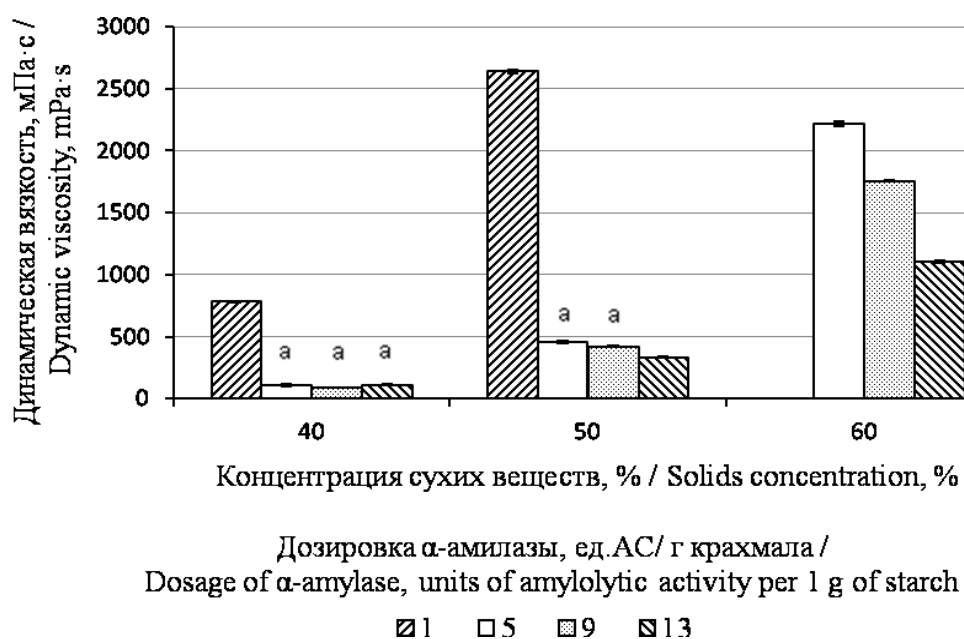
Результаты реологических исследований зависимости динамической вязкости гидролизатов от управляющих факторов биокатализа – концентрации сухих веществ и дозировки амилолитического ферментного препарата, дополненные исследованием образцов, гидролизированных α -амилазой в дозировке 1 ед. АС/г, представлены на рисунке 2. Установлено, что

при концентрации до 50 % дозировка ферментного препарата 1 ед. АС/г не обеспечивает значительного снижения вязкости, а при 60 % (данные не представлены) такого количества биокатализатора недостаточно для формирования гидролизата гомогенной структуры с возможностью перемешивания и перекачивания. При этом стоит отметить, что даже такой низкий уровень внесения α -амилазы обеспечивает получение приемлемой для дальнейшего перекачивания и переработки среды с концентрацией 40 %, что выше стандартных значений для технологии мальтодекстринов 30-35 % сухих веществ. Дальнейшее увеличение дозировки ферментного препарата снижает вязкость с 784 мПа·с до статистически неразличимых для дозировок 5, 9 и 13 ед. АС/г крахмала значений 89-110 мПа·с.

С ростом концентрации среды установлено положительное влияние увеличения

дозировки α -амилазы на снижение вязкости гидролизатов. Повышение дозировки с 1 до 13 ед.

АС/г крахмала при концентрации 50 % обеспечивает снижение вязкости с 2638 до 335 мПа·с.



Значения динамической вязкости статистически не различимы для рядов, обозначенных индексом «а», для каждой группировки по концентрации среды при уровне значимости $p < 0,05$ / Values of dynamic viscosity indicated with the same letter are not significant different for each group of the solubles concentration at $p < 0,05$

Рис. 2. Динамическая вязкость гидролизатов после 1 часа ферментативной обработки / Fig. 2. Dynamic viscosity of hydrolysates after 1 hour of enzymatic treatment

Результатом повышения концентрации среды до 60 % является увеличение вязкости для всех исследуемых сред, даже с высокой дозировкой α -амилазы. При 5 ед. АС вязкость составила 2219 мПа·с, а при 13 ед. АС снизилась до 1105 мПа·с. При этом отмечено, что увеличение концентрации среды до 50 и 60 % делает различие значений динамической вязкости статистически значимым для всех уровней внесения ферментного препарата.

Выводы. Подтверждена возможность получения гидролизатов крахмала кукурузы с концентрацией до 60 %, что в аспекте разработки экструзионно-гидролитической технологии позволяет значительно интенсифицировать процесс получения продуктов биоконверсии крахмала, перейти от многостадийных процессов разваривания, клейстеризации, разжижения к одностадийному процессу получения высококонцентрированных гидролизатов в ре-

акторной системе экструзионно-гидролитической установки.

Получена математическая модель, описывающая зависимость декстрозного эквивалента прогидролизованного экструдированного крахмала от концентрации среды в диапазоне варьирования 40-60 % и дозировки термостабильной α -амилазы в диапазоне 5-13 ед. АС/г крахмала.

Реологическими исследованиями установлено, что дозировке α -амилазы 1-13 ед. АС/г крахмала при 40 % концентрации среды соответствуют относительно низкие значения динамической вязкости, достаточные для перекачивания и перемешивания среды на дальнейших этапах переработки. Увеличение концентрации до 50-60 % требует внесения α -амилазы более 5 ед. АС/г крахмала для обеспечения реологически безопасного технологического процесса.

References

1. Baks T., Bruins M. E., Janssen A. E. M., Boom R. M. Effect of pressure and temperature on the gelatinization of starch at various starch concentrations. *Biomacromolecules*. 2008;9(1):296-304. DOI: <https://doi.org/10.1021/bm700814a>
2. Ananskikh V. V., Shleina L. D., Voronova L. Yu. *Osobennosti fermentativnogo razzhizheniya krakhmala*. [Features of enzymatic starch liquefaction]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(12):77-80. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17109108>
3. Baks T., Bruins M. E., Matser A. M., Janssen A. E. M., Boom R. M. Effect of gelatinization and hydrolysis conditions on the selectivity of starch hydrolysis with α -amylase from *Bacillus licheniformis*. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2008;56(2):488-495. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf072217j>
4. Baks T., Kappen F. H. J., Janssen A. E. M., Boom R. M. Towards an optimal process for gelatinisation and hydrolysis of highly concentrated starch–water mixtures with alpha-amylase from *Licheniformis* B. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(2):214-225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.03.011>
5. Ananskikh V. V., Shleina L. D. *O vozmozhnosti polucheniya mal'to-dekstrinov iz kukuruznoy muki*. [About a Possibility of Receiving Maltodextrins from Cornmeal]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2017;(11):9-13. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-polucheniya-maltodekstrinov-iz-kukuruznoy-muki>
6. Ananskikh V. V., Shleina L. D. *Mal'todekstriny iz krakhmalosoderzhashchego syr'ya, ikh kachestvo i ispol'zovanie v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti*. [Maltodextrins from starch-containing raw materials, their quality and use in food industries]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo*. 2018;(7-8(177)):50-52. (In Russ.). URL: https://bakery.news/wp-content/uploads/2019/01/Bread_07-08_2018_Maltodekstrin_18_07.pdf
7. Ananskikh V. V., Shleina L. D. *Mal'todekstriny iz krakhmalosoderzhashchego syr'ya*. [Maltodextrins from Starch Containing Raw Materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2015;(11):31-34. (In Russ.).
8. Cordt S., Hendrickx M., Maesmans G., Tobback P. The influence of polyalcohols and carbohydrates on the thermostability of α -amylase. *Biotechnology and bioengineering*. 1994;43(2):107-114. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.260430202>
9. Grafelman D. D., Meagher M. M. Liquefaction of starch by a single-screw extruder and post-extrusion static-mixer reactor. *Journal of Food Engineering*. 1995;24(4):529-542. DOI: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)90768-7](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)90768-7)
10. Sharikov A. Yu., Stepanov V. I., Ivanov V. V. *Termoplasticheskaya ekstruziya v protsessakh pishchevoy biotekhnologii*. [Thermoplastic extrusion in food biotechnology processes]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(3 (30)):447-460. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
11. Linko P. Extrusion cooking in bioconversions. In *Extrusion Cooking*. Eds. Mercier C., Linko P., Harper J. M. American Association of Cereal Chemists. Inc., St Paul, MN, 1989. pp. 235-245. URL: <https://www.amazon.com/Extrusion-Cooking-C-Mercier/dp/0913250678>
12. Roussel L., Vieille A., Billet I., Cheftel J. C. Sequential heat gelatinization and enzymatic hydrolysis of corn starch in an extrusion reactor optimization for a maximum dextrose equivalent. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 1991;24(5):449-458. URL: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=5108371>
13. Govindasamy S., Campanella O. H., Oates C. G. The single screw extruder as a bioreactor for sago starch hydrolysis. *Food Chemistry*. 1997;60(1):1-11. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00100-8)
14. Govindasamy S., Campanella O. H., Oates C. G. Enzymatic hydrolysis and saccharification optimisation of sago starch in a twin-screw extruder. *Journal of Food Engineering*. 1997;32(4):427-446. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00016-2)
15. Stepanov V. I., Ivanov V. V., Sharikov A. Yu., Ponomarev V. V., Khabibulina N. V. *Novyy printsip glubokoy pererabotki krakhmalosoderzhashchego syr'ya v tekhnologii polucheniya sakharistykh produktov*. [Novel technology of processing of starch-containing raw materials into starch-based sweeteners and food ingredients]. *Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: mat-ly IX Mezhdunarod. kongressa*. [Biotechnology: state and prospects of development: Proceedings of the IXth International Congress]. Moscow: *ООО "RED GRUPP"*, 2017. pp. 260-262. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29271317>
16. Stepanov V. I., Ivanov V. V., Sharikov A. Yu., Amelyakina M. V., Polivanovskaya D. V., Serba E. M. *Upravlyaemaya sistema nepreryvnoy pererabotki rastitel'nogo syr'ya na osnove termomekhanicheskikh i biokataliticheskikh protsessov*. [The system of continuous thermomechanical and biocatalytic processing of plant materials]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2019;(4):101-102. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Шариков Антон Юрьевич**, кандидат техн. наук, врио заведующего отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, д. 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9483-5209>, e-mail: anton.sharikov@gmail.com

Амелякина Мария Валентиновна, кандидат техн. наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, д. 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Иванов Виктор Витальевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, д. 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

Поливановская Дарья Викторовна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, д. 4Б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

Information about the authors

✉ **Anton Yu. Sharikov**, PhD in Engineering, acting head of the department, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9483-5209>, e-mail: anton.sharikov@gmail.com

Maria V. Amelyakina, PhD in Engineering, researcher, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Victor V. Ivanov, PhD in Engineering, leading researcher, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

Daria V. Polivanovskaya, junior researcher, Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: 4953624495@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442>

УДК 636.082

Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности

© 2020. С. В. Титова ✉, В. А. Забиякин

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

В статье представлены результаты исследований по сравнительному изучению основных хозяйственно полезных признаков молочного скота различного происхождения. Объектом изучения являлось поголовье голшти- низированных коров черно-пестрой породы. Исходным материалом для исследований послужили данные племен- ного учета (n = 4848) коров ЗАО ПЗ «Семеновский» Медведевского района Республики Марий Эл. Маточное поголо- вье стада принадлежит четырем линиям: Вис Бек Айдиал 1013415 – 55,6 %, Рефлексин Соверинг 198998 – 36,9 %, Монтивик Чифтейн 95679 – 6,7 % и Силинг Трайджун Рокит 252803 – 0,3 %. Наиболее продуктивными были животные линии В. Б. Айдиал. Они превосходили представителей других линий: по удою молока на 448-891 кг (7,1-15,2 %) ($p > 0,99$); по выходу молочного жира – на 17,5-35,0 кг (7,3-15,7 %) ($p > 0,99$); молочного белка – на 4,7-28,6 кг (7,4-15,5 %) ($p > 0,99$) и обладали высоким коэффициентом молочности 1323 кг. Животные всех линий, за исключе- нием линии С. Т. Рокит, характеризовались равномерной (устойчивой) лактационной кривой, коэффициентом устойчивости лактации – 93 %. Наименьший возраст первого отела наблюдался у животных линии Р. Соверинг – 26,5 мес., наибольший – линии С. Т. Рокит (30,7 мес.). Продолжительность сервис-периода в линии В. Б. Айдиал составила 129,4 дня, что выше данного показателя других линий на 8,3-11 дней (6,8-9,3 %) ($p > 0,95-0,99$). Продол- жительность межотельного периода во всех анализируемых линиях превышала оптимальную (365 дней) и изме- нялась в соответствии с изменением сервис-периода. Высокий показатель индекса плодовитости был у коров линии В. Б. Айдиал – 45,3, низкий – в линии С. Т. Рокит – 37,2. В исследуемых линиях коэффициент воспроизводи- тельной способности, характеризующий плодовитость коров, составил – 0,90-0,92, в линии С. Т. Рокит – 0,84.

Ключевые слова: порода, линия, удои, воспроизводительная способность коров, сервис-период

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема 0528-2019-0089).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Титова С. В., Забиякин В. А. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества ко- ров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):434-442. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442>

Поступила: 27.04.2020

Принята к публикации: 27.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Milk productivity and reproductive abilities of black-and-white cows of different lines

© 2020. Svetlana V. Titova ✉, Vladimir A. Zabyakin

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

The article presents the results of the research on the comparative study of the main economically valuable traits of dairy cattle of various origin. The population of Holstein cows of black-and-white breed was taken as the object of the study. Source material for the research was provided by data of breeding records (n = 4848) of cows from breeding plant "Semyonovsky", Medvedevsky district, Mari El Republic. The breeding stock of the herd was presented by four lines: Vis Bek Idial 1013415 – 55.6 %, Reflection Sovering 198998 – 36.9 %, Montvik Chieftain 95679 – 6.7 % and Siling Trijun Rokit 252803 – 0.3 %. Animals of V. B. Idial line were most productive. They were superior to the representatives of other lines: in milk yield by 448-891 kg of milk (7.1-15.2 %) ($p > 0.99$), in milk fat yield – by 17.5-35.0 kg (7.3-15.7 %) ($p > 0.99$), in milk pro- tein – by 4.7-28.6 kg (7.4-15.5 %) ($p > 0.99$) and they had a high coefficient of milking capacity of 1323 kg. Animals of all lines except S. T. Rokit line were characterized by a uniform (stable) lactation curve, the coefficient of lactation stability was 93 %. The lowest age of the first calving was observed in animals of the R. Sovering line (26.5 months), the highest – in the S. T. Rokit line (30.7 months). The duration of the service period in the V.B. Idial line was 129.4 days, that was higher than

this indicator for other lines by 8.3-11 days (6.8-9.3 %) ($p>0.95-0.99$). The duration of the calving interval in all studied lines exceeded the optimal one (365 days) and changed in accordance with the change of the service period. A high index of fecundity was in cows of V. B. Ideal line (45.3), a low index - in S. T. Rokit line (37.2). In the studied lines, the coefficient of reproductive ability that characterizes the fertility of cows was 0.90-0.92, in S. T. Rokit line – 0.84.

Keywords: breed, line, milk yield, reproductive ability of cows, service period

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 0528-2019-0089).

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: Titova S. V., Zabiyaikin V. A. Milk productivity and reproductive abilities of black-and-white cows of different lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4): 434-442. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442>

Received: 27.04.2020

Accepted for publication: 27.07.2020

Published online: 24.08.2020

Молочное скотоводство, как одна из наиболее значимых отраслей животноводства, играет важную роль в продовольственной безопасности страны. Это обусловлено тем, что почти 99 % молока дает крупный рогатый скот. Перед животноводами страны поставлены серьезные задачи по увеличению объемов производства молока и улучшению его качественных характеристик. Достижение поставленных целей возможно только при значительном повышении продуктивных и племенных качеств животных на основе современных ресурсосберегающих технологий, новейших научных разработок, эффективных методов селекции, способных ускоренными темпами проводить совершенствование существующих молочных пород, отвечающих современным требованиям промышленного производства [1, 2, 3, 4]. Животные должны обладать высокой продуктивностью, адаптационными качествами, хорошим здоровьем, устойчивостью к заболеваниям, продуктивным долголетием и воспроизводительной способностью.

В Российской Федерации в работе по совершенствованию плановых пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности большое практическое значение оказало использование лучших мировых генетических ресурсов, в частности, голштинской породы североамериканской и европейской селекции коров [5, с. 8]. Выбор голштинской породы, в качестве улучшающей был основан

на высоких показателях продуктивности, технологичности, экономической эффективности и адаптационных качествах [3, с. 2].

За годы голштинизации в страну было завезено большое количество «генетических ресурсов» в виде спермопродукции, эмбрионов и племенного молодняка. Проведенные селекционные преобразования с использованием генофонда голштинской породы значительно изменили отечественную породу черно-пестрого скота. Вследствие этого существенно повысился генетический потенциал продуктивности, изменился генотип и генеалогическая структура. На основе использования быков голштинской породы получены внутривидовые типы и линии молочного скота. Созданы высокопродуктивные стада [3, с. 5], которые характеризуются определенной генеалогической структурой и имеют свои отличительные особенности как по фенотипу, так и генетическому содержанию^{1,2} [6, 7, 8].

В молочном скотоводстве разведение по линиям остается одним из основных методов племенной работы. Как известно, в отдельных линиях накапливаются различные достоинства породы, придавая пластичность, нужную для ее дальнейшего совершенствования. Принадлежность к определенной линии оказывает влияние на рост и развитие животных, молочную продуктивность, ее количественные и качественные характеристики, воспроизводительную способность коров³ [9, 10].

¹Парфенова Г. Ф. Оценка продуктивности и технологических качеств молока дочерей быков-производителей голштинской породы разных генеалогических линий: дис. ... канд. с.-х. наук. Лесные Поляны, Московская обл., 2009. 119 с.

²Мымрин В. Каждый шаг, как тест на эффективность. The Dairynews. ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dairynews.ru/news/kazhdyy-shag-kak-test-na-effektivnost.html> (дата обращения: 20.05.2020).

³Садыкова А. Р. Молочная продуктивность холмогор-голландских помесей в зависимости от линейного происхождения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Кинель, 2010. 18 с.

Работа по улучшению племенных и продуктивных качеств животных ведется путем планомерного использования генетически связанных между собой производителей. Главное в разведении по линиям – поддерживать определенную генетическую разнородность в популяции, избегать неконтролируемого инбридинга, рационально использовать выдающихся быков-производителей, и путем отбора и подбора накапливать, закреплять и улучшать наследственные качества. Разведение по линиям позволяет поддерживать линейную структуру породы и общую численность животных с помощью расширенного воспроизводства лучших.

Цель исследований – изучить молочную продуктивность и воспроизводительную способность коров черно-пестрой породы с учетом их линейной принадлежности.

Материал и методы. В работе использованы данные зоотехнического и племенного учета ЗАО племязавод «Семеновский» Медведевского района Республики Марий Эл. Сформирована электронная база данных, включающая сведения о происхождении и продуктивности 4848 коров черно-пестрой породы, дочерях 201 быка. Отобранные по принципу сплошной выборки коровы родились в 2000-2017 гг.

На основе данных о происхождении исследуемое поголовье было подразделено на группы (линии) по принадлежности к линии отца. Проведен сравнительный анализ линий по молочной продуктивности и воспроизводительным качествам коров. Молочную продуктивность оценивали по основным и сопутствующим селекционным признакам: удой, содержание жира и белка, количество молочного жира и белка, коэффициент молочности и коэффициент лактации за 305 дней первой и третьей лактации. Коэффициент молочности рассчитывали по формуле: $KM = (\text{Удой за лактацию} / \text{живая масса}) \cdot 100^4$.

Воспроизводительную способность коров оценивали по возрасту первого отела, продолжительности сервис- и межотельного периода, индексу плодовитости, коэффициенту воспроизводительной способности. Индекс плодовитости (ИП) определяли по формуле:

$$ИП = 100 - (K + 2МОП),$$
 где K – возраст коровы при первом отёле, мес.; $МОП$ – средний межотельный период, мес. Коэффициент воспроизводительной способности коров (КВС) рассчитывали по формуле: $KBC = 365/МОП$, где $МОП$ – средний межотельный период, дни⁵.

Биометрический анализ данных проведен на основе общепринятых методов вариационной статистики, изложенных в методиках Е. К. Меркурьевой (1970) и Н. А. Плохинского (1969)^{6, 7}. Определены статистические параметры – средняя арифметическая ($\bar{X}$), ошибка средней (m_x), стандартное отклонение (σ), дисперсия (σ^2), коэффициент изменчивости (C_v). Статистическую значимость различий полученных результатов между показателями групп определяли по критерию Стьюдента. Обработка цифрового материала выполнена на персональном компьютере с использованием программного пакета анализа данных MS Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. В хозяйстве ведется целенаправленная селекция по повышению продуктивности и улучшению экстерьера крупного рогатого скота черно-пестрой породы. Повышение генетического потенциала молочной продуктивности стада осуществляется путем широкого использования быков голштинской породы. Искусственным осеменением охвачено 100 % коров и телок, в том числе 94,2 % – быками-улучшателями.

Популяция скота характеризуется своей генеалогической структурой, в которой 99,5 % маточного поголовья принадлежит четырем линиям: Вис Бек Айдиал 1013415, Монтвик Чифтейн 95679, Рефлекшн Соверинг 198998, Силинг Трайджун Рокит 252803 и 0,5 % прочие – животные, не относящиеся к какой-либо линии (табл. 1).

Основную часть подконтрольного поголовья составляют животные двух линий – Вис Бек Айдиал 1013415 (55,6 %) и Рефлекшн Соверинг 198998 (36,9 %). К этим линиям относится 92,5 % ($n = 4486$) коров, которые являются дочерьми 164 быков. Самые малочисленные линии С. Т. Рокит и М. Чифтейн включают 7,0 % ($n = 340$) от всего поголовья коров и являются дочерьми 32 быков-производителей.

⁴Молочная продуктивность коров. Geolike.ru. [Электронный ресурс].

Режим доступа: http://geolike.ru/page/gl_597.htm (дата обращения: 20.04.2020).

⁵Завертяев Б.П., Волгин В.И. Справочник зоотехника-селекционера по молочному скотоводству. М.: Колос, 1984. 223 с.

⁶Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1970. 423 с.

⁷Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 255 с.

Таблица 1 – Генеалогическая структура стада черно-пестрой породы /
Table 1 – Genealogical structure of the black-and-white breed herd

Линия / Line	Код линии / Line code	Быки-производители, гол. / Stud bulls, heads	Численность коров / Number of cows	
			гол. / heads	%
Вис Бек Айдиал 1013415 / Vis Bek Aydia 1013415	001	91	2695	55,6
Монтвик Чифтейн 95679 / Mantic Chieftain 95679	005	26	325	6,7
Рефлекшн Соверинг 198998 / Reflection Sovering 198998	006	73	1791	36,9
Силинг Трайджун Рокит 252803 / Siling Trijun Rockit 252803	009	6	15	0,3
Прочие / Others	200	5	22	0,5
Итого / Subtotal	–	201	4848	100,0

Анализ структуры популяции черно-пестрого скота по породности показал, что наибольший удельный вес составляют животные с высокой долей генов улучшающей породы. Из них 68,7 % коров имеют более

87,6 % голштинских генов (в среднем по группе 94,7 %), 15,4 % коров – 76,0-87,5 % (в среднем 82,2 %), 12,7 % маточного поголовья – 51-75 % (в среднем 70,1 %) генов голштинской породы (табл. 2).

Таблица 2 – Распределение коров в зависимости от доли генов голштинской породы /
Table 2 – Distribution of cows depending on the proportion of genes of the Holstein breed

Показатель / Index		Доля генов голштинской породы, % / Proportion of genes of the Holstein breed, %						
		0	<25	26-50	51-75	76,0-87,5	>87,6	по стаду / by herd
Число коров / Number of cows	гол. / heads	6	7	146	618	744	3327	4848
	%	0,1	0,1	3,0	12,7	15,4	68,7	100
Средняя доля генов по группе, % / Average proportion of genes over the group, %		-	18,9	46,5	70,1	82,2	94,7	88,2

В целом 99,8 % исследуемого поголовья голштинизировано. Средняя доля генов голштинской породы в анализируемой группе животных достигла 88,2 %.

По числу отелов исследуемое поголовье распределилось следующим образом: коровы первого отела – 31,3 %; второго отела – 24,6 %; третьего – 18,1 %; четвертого и пятого – 17,7 %; шестого и седьмого – 5,8 %; восьмого, девятого и десятого – 2,2 %; одиннадцатого и старше (n = 22) – 0,4 %. Средний возраст коров по выборке составил 2,74 отела, по количеству лактаций – 2,63.

В практической селекции изучение генеалогических линий по продуктивным качествам животных позволяет корректировать селекционную работу, определять перспективы дальнейшего развития и эффектив-

ного использования лучших вариантов подбора [11, с. 68].

При сравнительном анализе молочной продуктивности коров разной линейной принадлежности было выявлено, что лучшими по удою за первую лактацию оказались представительницы линии В. Б. Айдиал – 6737 кг. Они с высокой долей достоверности превосходили особей линии М. Чифтейн на 448 кг молока (7,1 %) и С. Т. Рокит на 891 кг (15,2 %) (p>0,99) (табл. 3).

Первотелки линии Р. Соверинг уступали по уровню продуктивности животным линии В. Б. Айдиал на 46 кг молока (разница недостоверна), но имели достоверное (p>0,99) преимущество перед потомками линии М. Чифтейн и С. Т. Рокит соответственно на 402 кг (6,4 %) и 845 кг (14,4 %).

Таблица 3 – Молочная продуктивность коров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности /
 Table 3 – Milk productivity of black-and-white cows of different lines

Показатель / Indicator	Номер лактации / Lactation number	Линия / Line			
		В. Б. Айдиал 1013415 / V. B. Aydial 1013415	М. Чифтейн 95679 / M. Chieftain 95679	Р. Соверинг 198998 / R. Sovering 198998	С. Т. Рокит 252803 / S. T. Rokit 252803
Удой за 305 дней, кг / Yield for 305 days, kg	1	6737±20	6289±62	6691±26	5846±151
	3	7898±43	7268±116	7543±61	7003±354
	±	+1161	+979	+852	+1157
Жир, % / Fat, %	1	3,82±0,00	3,81±0,00	3,81±0,00	3,80±0,02
	3	3,81±0,002	3,80±0,006	3,81±0,003	3,79±0,015
	±	-0,01	-0,01	0	-0,01
Молочный жир, кг / Milk fat, kg	1	258±0,78	240±2,45	255±1,00	222±6,49
	3	301±1,6	276±4,4	287±2,3	266±13,8
	±	+43	+36	+32	+44
Белок, % / Protein, %	1	3,16±0,00	3,14±0,00	3,16±0,00	3,11±0,02
	3	3,16±0,001	3,16±0,004	3,16±0,002	3,16±0,016
	±	0	+0,02	0	+0,05
Молочный белок, кг / Milk protein, kg	1	213±0,7	199±2,1	213±0,8	185±5,5
	3	250±1,4	233±3,7	239±1,9	227±12,9
	±	+37	+34	+26	+42
Живая масса, кг / Live weight, kg	1	511±0,3	506±1,2	512±0,6	501±1,7
	3	557±0,8	549±1,3	557±0,8	549±5,1
	±	+46	+43	+45	+48
Коэффициент устойчивости лактации, % / The coefficient of stability of lactation, %/	1	93	93	93	83
	3	90	88	89	87
	±	-3	-5	-4	+4
Коэффициент молочности, кг / The coeffi- cient of milk yield, kg	1	1323±3,9	1247±12,0	1314±5,0	1166±29,5
	3	1432±7,7	1321±20,3	1363±10,9	1280±70,5
	±	+109	+74	+49	+114

Наибольший выход молочного жира за первую лактацию наблюдался у первотелок линии В. Б. Айдиал, который составил 258 кг, и был достоверно ($p>0,99$) выше, чем у коров линии М. Чифтейн на 17,5 кг (7,3 %) и линии С. Т. Рокит – на 36,0 кг (15,7 %). Животные линии Р. Соверинг превосходили по данному показателю первотелок линий М. Чифтейн и С. Т. Рокит на 15,3 кг (6,4 %) ($p>0,99$) и 32,8 кг (14,7 %) ($p>0,99$) соответственно.

Наибольшим выходом молочного белка характеризовались первотелки линии В. Б. Айдиал и Р. Соверинг – 213 кг, что было досто-

верно ($p>0,99$) выше по сравнению с коровами линий М. Чифтейн и С. Т. Рокит на 14,0 кг (7,0 %) и 28,0 кг (15,1 %).

По массовой доле жира и белка в молоке у первотелок разных линий существенных различий не наблюдалось, разница не превышала 0,02 % и была недостоверной.

К третьей лактации молочная продуктивность полновозрастных коров существенно изменилась. Относительно первой лактации уровень удоев увеличился в линиях Р. Соверинг и М. Чифтейн на 12,7 и 13,5% ($p>0,99$; 0,95) и в линиях В. Б. Айдиал и С. Т. Рокит – на 17,2 и 15,9 % молока ($p>0,99$).

При сравнении линий по продуктивности за третью лактацию наблюдались аналогичные тенденции. Максимальный удой получен у коров линии В. Б. Айдиал – 7898 кг и превышал таковой в линии М. Чифтейн на 630 кг (8,7 %) ($p>0,99$), в линии Р. Соверинг – на 355 кг (4,7 %) ($p>0,99$), в линии С. Т. Рокит – на 895 кг (12,8 %) ($p>0,95$). Представительницы линии С. Т. Рокит как по первой, так и по третьей лактации обладали самыми низкими удоями – 5846 и 7003 кг.

Наибольший выход молочного жира (301 кг) и молочного белка (250 кг) отмечен у коров линии В. Б. Айдиал. Разница со средними показателями других линий составила по количеству жира 4,9-13,2 % ($p>0,95$), по количеству белка – 4,6-10,1 % ($p>0,95$).

Объективным показателем молочной продуктивности служит коэффициент молочности, поскольку показывает количество надоенного молока за лактацию на 100 кг живой массы. Показатель коэффициента молочности у первотелок всех анализируемых линий находился в пределах от 1166 до 1323 кг, что указывает на ярко выраженный молочный тип голштинизированного черно-пестрого скота. Наибольшее количество молока на 100 кг живой массы получено от первотелок линии В. Б. Айдиал, что выше по сравнению с первотелками линии С. Т. Рокит и М. Чифтейн на 13,5 и 6,1 % ($p>0,95$).

В третью лактацию показатель коэффициента молочности во всех анализируемых линиях повысился. Увеличение, по сравнению с первой лактацией, в линии С. Т. Рокит составило 9,8 %, В. Б. Айдиал – 8,2 %, М. Чифтейн – 5,9 %, Р. Соверинг – 3,7 %, разница во всех линиях была недостоверна.

Животные всех линий, за исключением линии С. Т. Рокит, характеризовались равномерной (устойчивой) лактационной кривой. Коэффициент устойчивости первой лактации составил 93 %. Достоверные различия ($p>0,99$) имелись между линией С. Т. Рокит и линиями В. Б. Айдиал и Р. Соверинг. В третью лактацию данный показатель снизился в линиях В. Б. Айдиал – на 3 %, М. Чифтейн – на 5 %, Р. Соверинг – на 4 %, и лишь в линии С. Т. Рокит увеличился на 4 %, но по сравнению с другими линиями оставался самым низким – 87 %.

Все признаки молочной продуктивности не отличались высокой изменчивостью. Коэффициенты вариации имели низкие значения и

в зависимости от линии варьировали по удою от 10,0 до 15,8 %, по содержанию жира от 1,6 до 1,7 % и содержанию белка от 1,4 до 2,0 %.

Результаты сравнительного анализа воспроизводительных способностей коров разной линейной принадлежности показали, что между изучаемыми группами имеются некоторые различия. Ранний возраст первого отела наблюдался у коров линии Р. Соверинг – 26,5 мес., что достоверно ($p>0,99$) меньше по сравнению с первотелками линии В. Б. Айдиал на 0,9 мес. (3,3 %) и линии М. Чифтейн на 1,0 мес. (3,6 %). Наибольшим возрастом первого отела характеризовались первотелки линии С. Т. Рокит – 30,7 мес., различия по данному признаку с коровами других линий недостоверны (табл. 4).

Сервис-период – показатель, характеризующий физиологическое состояние коровы и ее воспроизводительную способность. Длительность сервис-периода во всех анализируемых линиях превышала технологически целесообразные параметры – 60-90 дней. Самый продолжительный сервис-период у коров линии В. Б. Айдиал составил 129,4 дня, и был выше по сравнению с данным показателем в линии С. Т. Рокит на 8,1 дня (6,87 %). Сервис-период в линиях Р. Соверинг и М. Чифтейн был достоверно ниже на 8,7 и 9,3 % ($p>0,99$; $p>0,95$).

Продолжительность межотельного периода в анализируемых линиях превышала оптимальный срок (365 дней) и изменялась в соответствии с изменением сервис-периода. Наиболее продолжительный межотельный период был у коров линии Р. Соверинг – 410 дней. Разница с животными линии В. Б. Айдиал составила 12 дней ($p>0,99$), М. Чифтейн – 16 дней и линии С. Т. Рокит – 7 дней, разница недостоверна.

В практике показателем воспроизводительной способности отдельных коров или популяции в целом признается индекс плодовитости. Это обобщенный показатель, который учитывает межотельный период и возраст коровы при первом отеле. При индексе плодовитости коров, равном 48 и выше, плодовитость оценивается как хорошая, при индексе 41-47 – средняя и при индексе 40 и менее – низкая. Самым высоким показателем индекса плодовитости обладали коровы линии В. Б. Айдиала – 45,3, низким – животные линии С. Т. Рокит – 37,2.

Таблица 4 – Воспроизводительные качества коров разной линейной принадлежности /
 Table 4 – Reproductive abilities of cows of different lines

Показатель / Indicator	Линия / Line			
	В. Б. Айдиал 1013415 / V. B. Aydiyal 1013415	М. Чифтейн 95679 / M. Chieftain 95679	Р. Соверинг 198998 / R. Sovering 198998	С. Т. Рокит 252803 / S. T. Rokit 252803
Возраст первого плодотворного осеменения, мес. / Age of the first fertile insemination, months	17,20±0,06	17,50±0,20	16,40±0,07	20,90±1,43
Возраст 1 отела, мес. / Age of the 1st calving, months	27,40±0,07	27,50±0,20	26,50±0,08	30,70±1,44
Сервис-период, дни / Service period, days	129,40±2,12	118,40±5,06	119,00±2,39	121,30±37,54
Межотельный период, дни / Calving interval, days	398,0±11,1	394,0±10,0	410,0±6,3	403,0±3,1
Индекс плодовитости / The index of fertility	45,30±0,15	44,40±0,47	44,60±0,19	37,20±6,95
Коэффициент воспроизводительной способности / The coefficient of reproductive ability	0,92±0,00	0,90±0,01	0,92±0,00	0,84±0,09

Коэффициент воспроизводительной способности – показатель, характеризующий плодовитость маточного поголовья крупного рогатого скота, при оптимальном уровне плодовитости коров равен единице и зависит от продолжительности межотельного периода. В линии С. Т. Рокита коэффициент воспроизводительной способности был самый низкий – 0,84. В остальных исследуемых линиях коэффициент воспроизводительной способности находился на уровне 0,90-0,92, что указывает на удовлетворительную воспроизводительную способность животных.

Заключение. Результаты, полученные в ходе исследований, свидетельствуют о межлинейных различиях по признакам молочной продуктивности и воспроизводительным качествам коров. Исследования показали, что по количественному и качественному составу лидирующее положение в стаде занимает генеалогическая линия В. Б. Айдиала. Она является самой многочисленной и наиболее

продуктивной по сравнению с другими исследуемыми генеалогическими группами. Животные данной группы обладают высоким генетическим потенциалом продуктивности и ярко выраженным молочным типом. По важнейшим характеристикам молочной продуктивности коровы линии В. Б. Айдиал с высокой степенью достоверности превосходят животных других линий: по удою на 7,1-15,2 % молока, по выходу молочного жира на 7,3-15,7 %, молочного белка на 7,4-15,5 %; обладают высоким коэффициентом молочности – 1323 кг молока на 100 кг живой массы и устойчивой лактацией.

Животные линии Р. Соверинга, по сравнению с первотелками других линий, зарекомендовали себя как более скороспелые. Они характеризуются более ранним возрастом первого плодотворного осеменения – 16,4 мес., возрастом первого отела – 26,5 мес. и относительно коротким сервис-периодом – 119 дней.

Список литературы

1. Племяшов К. В., Тулинова О. В. Селекционный центр (ассоциация) по породе – научный ресурс племенной работы в скотоводстве. Генетика и разведение животных. 2016;(1): 3-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25629673>
2. Дунин И., Данкверт А., Кочетков А. Состояние и потенциал развития племенной базы скотоводства в Российской Федерации. Молочное и мясное скотоводство. 2012;(7):2-5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18760002>
3. Лабинов В. В., Прохоренко П. Н. Модернизация черно-пестрой породы крупного рогатого скота в России на основе использования генофонда голштинов. Молочное и мясное скотоводство. 2015;(1):2-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23005735>

4. Фисинин В. И., Калашников В. В., Лабинов В. В., Багиров В. А. Научное обеспечение животноводства России в 2008-2012 гг. Достижения науки и техники АПК. 2008;(10):3-6. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_12109575_16447274.pdf
5. Вельматов А. А., Гурьянов А. М., Вельматов А. П., Прытков Ю. Н., Артемьев А. А., Денисов В. Г. Инновационные технологии производства молока. М.: ООО «Столичная типография». 2008; 292 с.
6. Катков А. В., Сафронов С. Л., Басонов О. А. Сравнительная характеристика продуктивных качеств коров черно-пестрой породы разных регионов России. Известия СПбГАУ. 2017;(2(47)):85-91. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29757895>
7. Фирсова Э. В., Карташова А. П. Основные породы молочного скота в хозяйствах Российской Федерации. Известия СПбГАУ. 2019; №2 (55): 69-75. DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-12069>
8. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova N. I., Mishina O. Yu., Vorontsova E. S. Productivity and biological value of milk of cows of various ecogenetic types. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019;341:012043. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012043>
9. Holodova L. V., Novoselova K. S., Ignatyeva L. A., Mikhalev E. V., Onegov A. V. Comparative analysis of dairy cows' productivity depending on their origin and perspectives of further stock breeding in the herd. AGRITECH. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019;315(2): 022089. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022089>
10. Плавинский С. Ю., Гоголов В. А. Характеристика хозяйственно полезных признаков дочерей быков разных линий на примере АО "Луч" Ивановского района Амурской области. Дальневосточный аграрный вестник. 2018;(2(46)): 67-71. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-12030>
11. Абрамова Н. И., Богорова Л. Н., Власова Г. С. Оценка генеалогических структурных единиц для закрепления быков-производителей за маточным поголовьем сельхозпредприятий. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(4):70-73. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10418>

References

1. Plemnyashov K. V., Tulinova O. V. *Selektsionnyy tsentr (assotsiatsiya) po porode - nauchnyy resurs plemennoy raboty v skotovodstve*. [Breeding center (association) as a scientific resource of stock breeding]. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*. 2016;(1): 3-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25629673>
2. Dunin I., Dankvert A., Kochetkov A. *Sostoyanie i potentsial razvitiya plemennoy bazy skotovodstva v Rossiyskoy Federatsii*. [Condition and potential development of pedigree cattle base in the Russian Federation]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2012;(7):2-5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18760002>
3. Labinov V. V., Prokhorenko P. N. *Modernizatsiya cherno-pestroy porody krupnogo rogatogo skota v Rossii na osnove ispol'zovaniya genofonda golshtinov*. [Upgrading black-and-white cattle breed in Russia on the basis of holstein gene pool]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2015;(1):2-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23005735>
4. Fisinin V. I., Kalashnikov V. V., Labinov V. V., Bagirov V. A. *Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Rossii v 2008-2012 gg.* [Scientific support of animal husbandry in Russia in 2008-2012]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2008;(10):3-6. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_12109575_16447274.pdf
5. Vel'matov A. A., Gur'yanov A. M., Vel'matov A. P., Prytkov Yu. N., Artem'ev A. A., Denisov V. G. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva moloka*. [Innovative technologies in milk production]. Moscow: ООО «Stolichnaya tipografiya». 2008; 292 p.
6. Katkov A. V., Safronov S. L., Basonov O. A. *Sravnitel'naya kharakteristika produktivnykh kachestv korov cherno-pestroy porody raznykh regionov Rossii*. [Comparative characteristics of productive qualities of black-and-white cows of different regions of Russia]. *Izvestiya SPbGAU = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2017;(2(47)):85-91. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29757895>
7. Firsova E. V., Kartashova A. P. *Osnovnye porody molochnogo skota v khozyaystvakh Rossiyskoy Federatsii*. [Main breeds of dairy cattle in the farms of the Russian Federation]. *Izvestiya SPbGAU = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(2(55)):69-75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-12069>
8. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova N. I., Mishina O. Yu., Vorontsova E. S. Productivity and biological value of milk of cows of various ecogenetic types. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019;341:012043. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012043>
9. Holodova L. V., Novoselova K. S., Ignatyeva L. A., Mikhalev E. V., Onegov A. V. Comparative analysis of dairy cows' productivity depending on their origin and perspectives of further stock breeding in the herd. AGRITECH. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019;315(2): 022089. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022089>

10. Plavinskiy S. Yu., Gogulov V. A. *Kharakteristika khozyaystvenno-poleznykh priznakov docherey bykov raznykh liniy na primere AO "Luch" Ivanovskogo rayona Amurskoy oblasti*. [Characteristic of economic-useful signs of daughters of bulls of different lines by the example of JSC LUCH of Ivanovsky district, Amur region]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2018;(2(46)):67-71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-12030>

11. Abramova N. I., Bogoradova L. N., Vlasova G. S. *Otsenka genealogicheskikh strukturnykh edinit dlya zakrepleniya bykov-proizvoditeley za matochnym pogolov'em sel'khozpredpriyatiy*. [Assessment of Genealogical Structural Units to Assign Stud Bulls for Breeding Livestock of Agricultural Enterprises]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(4):70-73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10418>

Сведения об авторах

✉ **Титова Светлана Викторовна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: via@mari-el.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8651-9545>

Забиякин Владимир Александрович, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией по селекции пестраков, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: via@mari-el.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4246-8472>

Information about the authors

✉ **Svetlana V. Titova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: via@mari-el.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8651-9545>

Vladimir A. Zabyakin, DSc in Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for Guinea fowl breeding, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V.Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: via@mari-el.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4246-8472>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Эффективность скрещивания овцематок печорской породной группы с баранами остфризской породы в условиях Крайнего Севера

© 2020. Я. А. Жариков, Л. А. Канева ✉

Институт агробиотехнологий имени А. В. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация

Существуют гипотезы, что кроссбридинг повышает скороспелость, молочность и плодовитость овцематок, улучшает качество шерсти при снижении настрига и кратности стрижки с двух до одного раза в год, а также увеличивает интенсивность роста молодняка. Направление продуктивности овец изменяется в сторону увеличения производства баранины. Изучали количественные и качественные изменения признаков продуктивности печоро-остфризских помесей для обоснования целесообразности их получения и дальнейшего использования в селекционном процессе. Объектами исследования были овцематки, подсосные ягнята и растущий молодняк овец печорской породной группы и печоро-остфризские помеси первого поколения экспериментального стада крестьянского фермерского хозяйства Л. А. Каневой Усть-Цилемского района Республики Коми. Для сравнительного анализа использовали данные первичного зоотехнического учёта и бонитировки за 2016-2020 годы. Все измерения выполнены в соответствии с утверждёнными общепринятыми методами. Помесные матки первого поколения оказались достоверно более скороспелыми, их возраст первого окота был меньше на 164 дня. Тонина шерсти у помесей повысилась до 56-60 качества, а уравненность до 100 % при снижении затрат на стрижку в два раза. Наметилась тенденция повышения среднесуточного прироста живой массы печоро-остфризского молодняка в возрасте от трёх до семи месяцев на 17,4 г, или на 18,1 %. Исследования показали, что скрещивание не привело к увеличению плодовитости и молочности овцематок. Несмотря на это, производство прироста живой массы на одну овцематку в год было выше у помесей на 4,4 кг, что позволяет сделать вывод о перспективности скрещивания.

Ключевые слова: овцы, помеси, продуктивность, плодовитость, молочность, скороспелость, шерсть, прирост

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания № 0412-2019-0052, Рег. № НИОКТР АААА-А18-118122000103-5.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Жариков Я.А., Канева Л.А. Эффективность скрещивания овцематок печорской породной группы с баранами остфризской породы в условиях Крайнего Севера. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):443-452. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.443-452>

Поступила: 17.04.2020

Принята к публикации: 08.08.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

Efficiency of crossing ewes of the Pechora breed with rams of the Ostfriesian breed in the conditions of Far North

© 2020. Yakov A. Zharikov, Lydia A. Kaneva ✉

A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktuykar, Komi Republic, Russian Federation

There are hypotheses that crossbreeding increases precocity, milk production and fertility of ewes, improves quality of wool with decrease in the amount of wool clip and shearing frequency from two to one time a year, and increases the growth rate of young sheep. Thus, the direction of sheep productivity turns towards increasing lamb production. Studied were quantitative and qualitative changes in the production character of Pechora-Ostfriesian crossbreeds for justification of their breeding and further use in the selection process. The objects for the study were ewes, suckling lambs and growing young sheep of the Pechora breed group and Pechora-Ostfriesian crossbreeds of the first generation of the experimental herd of L. A. Kaneva peasant farm in the Ust-Tsilma district of the Komi Republic. For the comparative analysis, data from primary zootechnical record and valuations for 2016-20 years were used. All measurements were performed in accordance with approved conventional methods. Crossbred sheep of the first generation were significantly more precocious, they had their first lambing 164 days earlier. The wool fineness of crossbreeds has increased to 56-60 quality, and the fleece evenness to 100 %, while twice reducing the cost of shearing. There is a tendency to increase the average daily gain in live weight of Pechora-Ostfriesian young sheep at the age of three to seven months by 17.4 g, or 18.1 %. The studies have shown that crossbreeding had not led to increase in the fecundity and milk production of ewes. However, the production of live weight gain per ewe per year was higher in crossbreeds by 4.4 kg, which suggests the prospects of crossing.

Keywords: sheep, crossbreeds, productivity, fertility, milk production, precocity, wool, growth

Acknowledgement: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment No. 0412-2019-0052, registration number USAIS AAAA-A18-118122000103-5.

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: Zharikov Y. A., Kaneva L. A. Efficiency of crossing ewes of the Pechora breed with rams of the Ostfriesian breed in the conditions of the Far North. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(4):443-452. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.443-452>

Received: 17.04.2020

Accepted for publication: 08.08.2020

Published online: 24.08.2020

Рентабельное овцеводство возможно только в том случае, если разводимые животные будут соответствовать современным требованиям по многоплодию, скороспелости, сочетаемости показателей мясности и шерстности, качеству продукции, устойчивости к болезням, приспособленности к условиям и кормовой базе ареала разведения. Печорские мясошерстные полутонкорунные овцы хорошо адаптированы на Крайнем Севере, обладают удовлетворительной шерстной и мясной продуктивностью, но имеют низкие показатели скороспелости, плодовитости и молочности, что в сложившихся экономических условиях, когда шерсть обесценилась, а цены на мясо возросли не позволяет обеспечить прибыльное ведение отрасли. Одним из эффективных приемов повышения мясной продуктивности овец является скрещивание маток, хорошо приспособленных к зональным природно-климатическим условиям, но недостаточно продуктивных с баранами лучших отечественных и зарубежных пород. Мировая практика показывает, что таким образом можно получить животных, адаптированных к экологическим условиям различных природно-климатических зон и одновременно удовлетворяющих самым жестким требованиям рынка.

Как правило, в скрещиваниях используют породы баранов, характеризующиеся повышенной мясностью (суффолк (suffolk), дорсет (dorset), саутдаун (southdown), гемпшир (hampshire), иль-де-франс (Île-de-france)), высокой плодовитостью (бордер-лейстер (border leicester), тексель (texel)), выдающейся молочностью (остфризская (ostfriesian)). При сложном скрещивании в качестве второй породы широко используют баранов многоплодных пород, например, романовской и финский ландрас (finnish landrace).

Очень активно для улучшения адаптационных способностей и продуктивных качеств овец скрещивания практикуются за рубежом [1, 2, 3, 4, 5]. Скрещиванием баранов финский ландрас с матками дорсет рогатый вывели породу кадзов-улучшатель (kadzov-improver). Плодовитость чистопородных маток породы кадзов-улучшатель до 245 %, настриг шерсти в среднем 2,72 кг. В Англии скрещиванием баранов пород тисвотер (teeswater)

и маток дейлисбред (dalesbred) выведена порода машэм (massam) со средней многоплодностью свыше 220 %. В Шотландии выведена порода дэмлайн (demelain). Она несёт в себе 47 % крови породы финский ландрас, 24 % остфризской породы, 17 % бордер-лейстер и 12 % крови дорсет рогатый. В среднем на 3-летнюю матку с массой тела перед случкой 56 кг получают по 2,3 ягненка [6]. Порода овец мирового уровня с хорошо выраженной мясной и шерстной продуктивностью – новозеландский корридель (new zealand corriedale), получена на основе скрещивания мериносов с баранами линкольн (lincoln) и ромни-марш (romney-marsh) [7], в США методом воспроизводительного скрещивания тонкорунной мясошерстной породы овец – полипей (polypay). Матки ягнятся два раза в год, а плодовитость породы составляет 180 % [8]. В современной России в 2018 году утверждена новая мясная катумская порода овец. Выведена она в Ленинградской области на ферме ООО СХП «Катумы» в результате скрещивания американской мясной породы катадин (katahdin) и многоплодной романовской. Овцы гладкошерстные, поэтому не нуждаются в стрижке. Характеризуются скороспелостью, ранним половым созреванием (5-6 мес.). Средняя плодовитость маток 190-250 %, максимальная – 280-300 %. Среднесуточный прирост живой массы ягнят до отбивки 300-450 г, максимальный – 700-800 г. Осеменение и ягнения проводятся два раза в течение года [9].

Большую актуальность для Республики Коми представляют исследования по скрещиванию овец адаптированного генофонда с баранами различных пород отечественной и импортной селекции с целью повышения рентабельности отрасли. В частности, от печоро-остфризских помесей ожидали лучшего, по сравнению с печорскими овцами, роста молодняка, увеличения молочности и плодовитости помесных маток, то есть повышения производства баранины, снижения настрига шерсти и кратности стрижки с двух до одного раза в год.

Цель исследований – изучить направления, количественные и качественные изменения признаков продуктивности печоро-остфризских помесей первого поколения для обоснования целесообразности их получения и дальнейшего использования в селекционном процессе.

Материал и методы. Объектом сравнения служили овцематки, подсосные ягнята и растущий молодняк овец печорской породной группы и печоро-остфризские помеси первого поколения экспериментального стада крестьянского фермерского хозяйства Л. А. Каневой, расположенного в Усть-Цилемском районе Республики Коми в Приполярной зоне (65°26.4624' с.ш.; 52°8.9868' в.д.). Для сравнительного анализа использовали данные первичного зоотехнического учёта и бонитировок за 2016-2020 годы. При объединении выборок разных лет делали корректировку данных на фактор года по формуле, представленной В. П. Томиловым [10] в нашей интерпретации:

$$x' = x + \bar{x}_S - \bar{x},$$

где x' – скорректированный показатель;
 x – исходный показатель; $\bar{x}_S$ – среднее по объединённой многолетней выборке;
 $\bar{x}$ – среднее по годовой выборке, то есть за тот год, в котором получен исходный показатель x . Количество животных, вошедших в выборку для анализа, указаны в соответствующих таблицах.

Все печоро-остфризские помеси, задействованные в исследовании, получены от одного чистопородного барана остфризской породы, купленного на Ферме «Капри», владелец Е. И. Фролова [сайт: <http://www.visit-kaluga.ru/item/534>], летом 2013 года. Дата рождения барана 08.02.2013 г., класс элита, живая масса в 2015 году 85 кг, настриг нативной шерсти – 3,4 кг.

Породную идентификацию животных провели по данным зоотехнического и племенного учёта. Бонитировку животных – согласно требованиям ГОСТ 25955-83, а также Приказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 5 октября 2010 г. № 335 «Об утверждении Порядков и условий проведения бонитировки племенных овец».

Плодовитость овцематки оценивали по количеству всех полученных за окот живых ягнят. О молочности судили по суммарному среднему суточному приросту ягнят в окоте за первый месяц подсоса.

Для изучения динамики изменения живой массы молодняка ежемесячно проводили индивидуальное взвешивание с точностью до 0,1 кг. По результатам взвешивания рассчитали абсолютный, относительный и среднесуточный приросты живой массы.

Все овцы стада содержались в одном помещении, но с делением по клеткам на

половозрастные группы. Основным компонентом рационов являлось злаково-разнотравное сено, заготовленное с естественных суходольных и заливных лугов поймы реки Печоры. Концентратная часть рациона была представлена гранулированным комбикормом для дойных коров с содержанием 18 % сырого протеина. Средневзвешенный рацион подсосных овцематок состоял из 1,3 кг злаково-разнотравного сена среднего качества, 1,6 кг злаково-разнотравного сенажа среднего качества, 0,3 кг комбикорма, шрота подсолнечного – 0,1 кг и 12 г поваренной соли.

Подсосные ягнята до отбивки и в течение месяца после отбивки получали до 200 г на голову в сутки комбикорма. С 5-месячного возраста молодняк переводили на бесконцентратные рационы.

Для сравнительной характеристики роста молодняка изучаемых генотипов (табл. 3) в выборку для оценки включили только тех особей, у которых средний суточный прирост был выше средней по группе. По нашему мнению, такой подход позволяет более рельефно оценить потенциальные возможности того или иного генотипа в сходных условиях обеспечивать рост. Сравнимые выборки включали в себя как баранчиков, так и ярок.

Прирост живой массы от одной подсосной овцематки за два месяца подсоса (П1) определяли по формуле:

$P1 = (C1 * 60) + (Ж.М.рожд. * В)$, где
 $C1 * 60$ – произведение среднесуточного прироста до двух месяцев на 60 дней;
 $Ж.М.рожд. * В$ – произведение живой массы ягнят при рождении на выход ягнят.

Прирост живой массы на одну овцематку за пять месяцев выращивания (П2) рассчитывали как произведение среднесуточного прироста молодняка от двух до семи месяцев (C2) на 150 дней и на выход ягнят (В) по формуле: $P2 = C2 * 150 * В$.

Производство валового прироста живой массы ягнят на одну овцематку в год (П3) находили как сумму прироста живой массы за два месяца подсоса (П1) плюс за пять месяцев выращивания (П2) по формуле: $P3 = P1 + P2$.

Обработку данных выполняли, используя описательную статистику из пакета анализа Microsoft Excel. Достоверность различий независимых выборок оценивали двухвыборочным тестом (Two-Sample T-Test) из программы NCSS по трём критериям: t-тест с одинаковыми дисперсиями; t-тест Аспина-Велча с различными дисперсиями; t-тест

Колмогорова-Смирнова для ненормальных распределений при $p \leq 0,05$. Также пользовались тестами однофакторного дисперсионного анализа ANOVA из программы NCSS для оценки существенности частных различий: Бонферрони, Дункана, Фишера, Ньюмана-Каулса, Шеффа, Тукей-Крамера.

В тексте использованы условные обозначения пород: П – печорская в типе ромни-марш, О – остфризская. Генотипы животных обозначили дробью с указанием в числителе кровности в % и аббревиатуру материнской породы, в знаменателе кровность в % и отцовскую породу.

Результаты и обсуждение. До сороковых годов прошлого века местное население Коми разводило северных короткохвостых грубошерстных овец, распространённых по всему северу Европы. По внешнему виду северные овцы характеризовались слегка горбоносой грубоватой головой, острой холкой, тонкими длинными ногами, слабой оброслостью головы, живота и ног, покрытых коротким кроющим волосом.

Северные короткохвостые овцы имели низкую продуктивность. Живая масса взрослой овцематки составляла 20-25 кг, годовой настриг грубой нативной шерсти колебался от 0,6 до 1,2 кг. Туши неудовлетворительной обмускуленности, а мясо слабых кулинарных качеств. Нередко наблюдали значительные пороки экстерьера, такие как провислость спины, узкая грудь, острая холка, свислость зада. Шерсть неоднородная, белой, реже чёрной окраски. Были и положительные качества – полиэстричность, нетребовательность к условиям содержания, высокие скороспелость и плодовитость. Как правило, за один окот матки приносили по 2-3 ягненка.

В конце 1930-х годов перед научными работниками Печорской сельскохозяйственной опытной станции была поставлена задача – создать высокопродуктивный тип овец, сочетающий в себе хорошую приспособленность к условиям Крайнего Севера, высокую живую массу и настриг однородной полутонкой шерсти. Такая работа была начата под руководством Д. А. Епанешникова. В качестве улучшающей породы была выбрана полутонкорунная мясошерстная ромни-марш. Овцы этой породы характеризуются крупной массой, телосложением с явно выраженными мясными формами, дают хороший настриг однородной шерсти. Из высокопродуктивных культурных пород ромни-маршей считают наиболее выносливыми, устойчивыми к гли-

стным заболеваниям и приспособленными к пастбищному содержанию. На своей родине, в Англии, несмотря на сырые и холодные зимы, они круглый год содержатся на пастбище.

В 1937 году в Усть-Цильму из племхоза «Власть труда» Орловской области завезли девять племенных баранов породы ромни-марш и разместили в шести колхозах Усть-Цилемского и Ижемского районов. Это была первая партия животных. Всего же с 1937 по 1953 годы в район Печеры было завезено 360 баранов живой массой 85-97 кг, длиной шерсти – 18-20 см.

Результаты межпородного скрещивания показали, что помесные ягнята первого поколения были в два раза крупнее местных овец. В передней части туловища, на шее и лопатках заметно изменялся шерстный покров в сторону появления полутонкой шерсти, повышались мясные качества. Наряду с этим снижалась плодовитость, и сокращался период размножения, возрастала его сезонность. Уже к 1942 году были получены помеси третьего и четвёртого поколений и начато разведение помесей желательного типа «в себе». Путём тщательного отбора и выбраковки на протяжении 15 лет был наследственно закреплён желательный тип животных [11].

Выведенные мясошерстные овцы сочетали в себе хозяйственно полезные качества исходных пород. От ромни-маршей овцы печорской породной группы унаследовали однородную полутонкую белую шерсть, хорошую оброслость головы, ног и брюха, характерный экстерьер, живую массу, «чёлку» и длинный хвост. От северных овец осталась более высокая плодовитость, приспособленность к северным климатическим условиям и длительному стойловому содержанию.

В августе 1961 года Государственная комиссия, проработав над тщательной бонитировкой десятитысячной отары печорских полутонкорунных овец, однозначно отметила в Государственном акте, что овцы являются новой самостоятельной породной группой. Им было присвоено название «печорские полутонкорунные мясошерстные овцы».

В шестидесятых годах племенная овцеводческая ферма колхоза «имени Батманова» Усть-Цилемского района была одной из лучших в республике. Средние настриги шерсти по ферме составляли 3,5 кг на овцу в год. А в 1967 году было настрижено по 4,15 кг шерсти от каждой из 319 взрослых овец [11].

В 1970-80-х годах наиболее ценное в племенном отношении поголовье печорских полутонкорунных овец было сосредоточено в совхозах «Усть-Цилемский» одноимённого района и «Мохчинский» – Ижемского района [12]. А с середины 1970-х на уровне государственных и партийных органов в связи со специализацией северного животноводства на производство молока и низкими закупочными ценами на шерсть, баранину и овчину в хозяйствах общественного сектора Республики Коми овцеводство было признано нерентабельным. Хозяйства пошли на крайние меры, т.е. полную ликвидацию овцеводческих ферм, включая племенные. При ликвидации колхозных и совхозных овцеферм, укомплектованных полутонкорунными овцами, молодняк и, нередко, взрослое маточное поголовье продавались населению, и полутонкорунные овцы воспроизводились в частном секторе, стихийно, без какой-либо целенаправленной селекционной поддержки. Часть из них скрещивались с местными беспородными овцами и без должного селекционного сопровождения вырождались. Животные другой части, разводившиеся локально в некоторых населённых пунктах и индивидуальных хозяйствах Усть-Цилемского и Ижемского районов, сохранили типичные для печорской породной группы морфологические и продуктивные признаки. Официально, на сегодняшний день, печорская породная группа овец считается «вымершей»¹.

Селекционная работа с овцами в Республике Коми возобновилась только после восстановления в 2000 году одного из старейших на Севере научных учреждений – Печорской научно-исследовательской опытной станции им. А. В. Журавского. Сотрудники восстановленной Печорской опытной станции провели экспедиционное обследование животных путем подворного обхода индивидуальных хозяйств населения Усть-Цилемского района Республики Коми. Обследованию подлежали все овцы старше года, сохранившие типичность печорской породной группы. Всего было обследовано 200 голов [13]. Затем для создания собственного стада была проведена закупка у населения неродственных между собой овцематок и ярок. Чистопородных баранчиков породы ромни-марш приобрели в племсовхозе «Котовский» Рязанской области

(2002 г.). Целесообразность скрещивания печорских овцематок с родственной отцовской породой была вызвана необходимостью избежать инбридинга в малочисленном стаде и снижения потенциальной продуктивности поголовья. Бараны ромни-марш отечественной селекции работали в стаде вплоть до 2010 года. В результате были получены помеси нескольких поколений, бараны и матки, разведение которых продолжается «в себе» (рис. 1).

Плодовитость овцематок колеблется в пределах 110-120 %, возраст первого окота – 23-25 месяцев, интенсивность роста ягнят от рождения до 4-х месяцев около 120 г в сутки. Средние показатели взрослых овцематок: живая масса – 55,0 кг, высота в холке и крестце – 65,8 см, глубина груди – 33,7, косая длина туловища – 83,1, ширина груди – 27,9, обхват груди – 99,0, обхват пясти – 9,1 см. Овцы в своей массе комолые. Шерсть белая, однородная, тониной 48-52 качества. Стригут овец два раза в год: в мае и октябре. Средний суммарный настриг нативной шерсти с овцематки за год 3,8 кг, суммарная длина шерсти 17,0 см.

Овец остфризской породы (рис. 2) вывели голландские фермеры в XIX столетии. Животные крупные, с удлинённой горбоносой головой. Живая масса баранов – 110-130 кг, маток – 70-100 кг. Бараны и матки безрогие, белой масти, открытая морда, уши, хвост и ноги покрыты коротким прямым волосом. Уши длинные, наклонены в направлении носа. Грудь глубокая, широкая, с косо поставленными ребрами. Спина длинная и широкая, круп слегка свисловатый. Ноги высокие, слабообмускуленные, хвост средней длины, не достигающий на 5-6 см до скакательного сустава.

Порода универсальной продуктивности (молоко, мясо, шерсть). Считается одной из лучших по молочности. За одну лактацию овцематки дают от 400 л молочного сырья. Характеризуется высокой плодовитостью – около 200 ягнят на сто полновозрастных овцематок. Овцы скороспелые. Первая случка в норме происходит в 11-12 месяцев. При интенсивном выращивании приросты составляют 300-500 г в сутки. Настриг нативной шерсти за год от одной овцы в среднем 3,5 кг, длиной до 10 см. Шерсть полутонкая, 56-60 качества. Выход чистой шерсти – от 65%².

¹Состояние пород овец в РФ. Фермер.Ру. 2010. Режим доступа: <https://fermer.ru/forum/porody-ovets/109052> (дата обращения: 05.04.2020).

²Молочные породы овец: список пород для разведения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://selo-exp.com/ovcy/molochnye-porody-ovec.html> (дата обращения: 05.04.2020).



Рис. 1. Овцематки печорской породной группы в типе ромни-марш /
Fig. 1. Sheep of the Pechora breed group in the Romney-marsh type



Рис. 2. Баран остфризской породы КФХ Л. А. Каневой /
Fig. 2. Ram of the Ostfriesian breed from L. A. Kaneva farm

В системе мер, направленных на повышение экономической эффективности отрасли, всегда обращают внимание на интенсификацию воспроизводства и, в первую очередь, на повышение плодовитости животных, сохранность и рост молодняка. При анализе плодовитости нам было интересно узнать, оказывает ли влияние генотип барана на многоплодие матки. Для этого мы сравнили результаты спаривания печорских и печоро-остфризских помесных овцематок с одними и теми же чистопородными баранами остфризской и романовской породы, а также помесным печоро-куйбышевским бараном (табл. 1).

Расчёты показали отсутствие статистически значимых различий между группами,

то есть чистопородные и помесные матки практически не различались между собой по многоплодности окота. Более того, бараны разных генотипов, использованные на одной и той же материнской основе, не влияли на плодовитость.

Возможно, что у помесей второго и последующих поколений по остфризской породе плодовитость маток повысится. В противном случае, вероятно, потребуется включить в селекционный процесс плодовых овец шубной романовской породы или полутонкорунных финских ландрасов. Так, по данным Н. И. Кравченко, скрещивание тонкорунных овец с баранами романовской породы является радикальным способом повышения многоплодия.

Таблица 1 – Влияние типа спаривания на плодовитость овцематок /
Table 1 – Effect of mating type on the fertility of ewes

Тип спаривания / Mating type		Объяснилось, гол. / Lamed, heads			Получено ягнят, гол. / Received lambs, heads	
генотип / genotype		всего / in total	одинаками / singles	двойнями / twins	всего / in total	на 1 окот / per one lambing
овцематки / ewes	барана / rams					
50П/50П / 50Р/50Р	50О/50О / 50О/50О	47	40	7	54	1,15±0,053
	50Р/50Р / 50Р/50Р	46	41	6	53	1,15±0,054
	50П/50КБ / 50Р/50К	14	13	1	15	1,07±0,071
50П/50О / 50Р/50О	50О/50О / 50О/50О	15	14	1	16	1,07±0,067
	50Р/50Р / 50Р/50Р	23	21	2	25	1,09±0,060
	50П/50КБ / 50Р/50К	8	6	2	10	1,25±0,164

Примечания: Р – романовская порода, КБ – куйбышевская порода / Notes: R – Romanov breed, K – Kuibyshev breed

На этой основе в Краснодарском крае проводится работа по созданию нового генотипа многоплодных овец, который должен обеспечивать производство 60 кг баранины в живой массе на одну овцематку за счет получения до двух ягнят за ягнение, повышение мясной скороспелости потомства на 20% и получение однородной белой шерсти. Производственные испытания многоплодных тонкорунных овец этого типа показали обнадеживающие результаты. В первом ягнении за 2012 г. в расчете на 100 маток было получено 173 ягненка, в 2013 г. от этих же овцематок во втором ягнении получен еще больший показатель выхода ягнят – 191 %, а от новой группы первого ягнения родилось 183 ягненка на 100 маток [14].

Анализ средней живой массы ягнят при рождении вне зависимости от многоплодности окота и возраста матерей (популяционные данные) показал высокую зависимость этого показателя от генотипа производителя. Так, от баранов романовской породы рождались ягнята с массой существенно меньшей, чем от баранов других проанализированных генотипов (табл. 2). Самые крупные баранчики и ярочки рождались от матерей генотипа 50П/50О с остфризским бараном. Половая дифференциация по живой массе при рождении была существенной в пользу баранчиков в первой, четвертой и пятой группах на 11,2, 11,3 и 25,5 % соответственно.

Сохранность и рост ягнят в молочный период, особенно из многоплодных окотов, тесно связаны с уровнем молочной продуктивности матерей, поскольку в первые недели

после рождения ягнят молоко является единственным продуктом их питания. Среднесуточный прирост живой массы ягнят за первый месяц жизни (молочность) у маток генотипа 50П/50П составил 202,21±10,25, а у маток 50П/50О – 207,79±14,96 г, т. е. был практически одинаковым.

Повышение скороспелости сельскохозяйственных животных – одна из актуальных задач, которая неразрывно связана с экономикой производства продукции. Всегда выгоднее разводить тех животных, которые раньше дают максимум товарной продукции высокого качества. Со скороспелостью тесно связаны: интенсивность роста, затраты корма на прирост массы тела, возраст животных, в котором их можно использовать для воспроизводства или для получения товарной продукции. Этим обусловлена необходимость использования скороспелости в селекционном процессе [15, 16]. Средний возраст первого окота печорских овцематок составил 696,72±21,41 дней, а помесных – 532,59±29,29, или был достоверно на 164,13 дня меньше ($p \leq 0,05$). Таким образом, использование остфризских баранов на печорских матках является весьма перспективным приёмом улучшения скороспелости овец.

Матки 50П/50О характеризовались высоким качеством шерсти по тонине, длине, густоте, однородности, уравниваемости руна, типу извитости, чистоте. По сравнению с печорскими овцами тонина шерсти у помесей повысилась до 56-60 качества, а уравниваемость до 100 %. При этом настриг шерсти сократился с 3,20 кг у 50П/50П до 2,76 у помесей

($p \leq 0,01$), в основном за счёт снижения оброслости головы, ног, брюха и хвоста, т.е. наиболее загрязнённых участков тела. У помесей

снизилось образование колтунов, выпадение шерсти, отпала необходимость в двукратной стрижке.

Таблица 2 – Живая масса ягнят при рождении (по всем окотившимся маткам) /

Table 2 – Live weight of lambs at birth (for all lambing ewes)

Тип спаривания / Mating type		Группа / Group	Весь приплод / All the lambs		Баранчики / Male lamb		Ярочки / Female lamb	
генотип / genotype			n	M±m	n	M±m	n	M±m
овцематки / ewes	барана / rams							
50П/50П / 50P/50P	50О/50О / 50О/50О	1	51	4,41±0,123 ^(2, 5)	23	4,66± 0,192 ^{(2)*}	28	4,19± 0,149 ^(2,5)
	50Р/50Р / 50R/50R	2	52	3,77±0,093 ^(1,3,4,6)	28	3,90±0,125 ^(1,3,4,6)	24	3,61±0,134 ^(1,3,4,6)
	50П/50КБ/ 50P/50K	3	14	4,49±0,159 ^(2,5)	6	4,070±0,218 ⁽²⁾	8	4,34±0,221 ^(2,5)
50П/50О / 50P/50O	50О/50О / 50О/50О	4	16	5,00±0,154 ^(2,5)	9	5,23±0,200 ^{(2,5)*}	7	4,70±0,200 ^(2,5)
	50Р/50Р / 50R/50R	5	24	3,68±0,156 ^(1,3,4,6)	11	4,14±0,204 ^{(4,6)*}	13	3,30±0,173 ^(1,3,4,6)
	50П/50КБ/ 50P/50K	6	10	4,66±0,226 ^(2,5)	4	4,90±0,314 ^(2,5)	6	4,50±0,318 ^(2,5)

Примечания: (1, 2, 3, 4, 5, 6) – существенные различия с указанными группами; * существенные различия между баранчиками и ярочками внутри группы ($p \leq 0,05$) / Notes: (1,2,3,4,5,6) – significant differences with the specified groups; * significant differences between male lamb rams and female lambs within the group ($p \leq 0.05$).

Возрастная динамика живой массы является важнейшим биологическим признаком, который характеризует скороспелость и экологическую устойчивость животного. Установили тенденцию к увеличению сред-

несуточного роста печоро-остфризского молодняка с трёх до семи месяцев выращивания относительно чистопородного печорского на 17,39 г, или на 18,14 % (табл. 3).

Таблица 3 – Темпы роста молодняка разных генотипов за период выращивания после отъёма /

Table 3 – Growth rates of young sheep of different genotypes after weaning

Генотипы / Genotype (n)	Начало периода / Start of the period		Конец периода / Finish of the period		Прирост за период / Growth over the period	
	живая масса, кг / live weight, kg	возраст, дни / age, days	живая масса, кг / live weight, kg	возраст, дни / age, days	абсолют- ный, кг / absolute, kg	средне- суточный, г / average daily, g
50П/50П / 50P/50P (34)	16,35±0,62	91,91±0,54	24,85±0,72	180,88±0,21	8,51±0,23	95,86±2,77
50П/50О / 50P/50O (29)	17,35±0,73	94,24±1,53	25,48±1,02	171,17±3,13	8,13±0,53	113,25±10,98

Более низкие приросты молодняка после отъёма по сравнению с молочным периодом объясняются недостаточной подкормкой концентратами после отъёма. По природно-климатическим и экономическим причинам расширить ассортимент кормов и сбалансировать рацион не представлялось возможным.

В таблице 4 представлен расчёт производства валового прироста живой массы ягнят на одну овцематку в год. Расчёт показал, что

в одинаковых условиях кормления и содержания помесный молодняк выгодно отличался от своих чистопородных сверстников. Дополнительное производство прироста живой массы составило 4,38 кг. При цене 1 кг живой массы, равной 200 рублей, выручка от реализации дополнительного прироста живой массы составит 876 рублей. Фактически экономический эффект будет больше за счёт сокращения почти на полгода возраста первого окота помесей.

Таблица 4 – Производство валового прироста живой массы ягнят на одну овцематку в год /
Table 4 – Production of gross live weight gain of lambs per sheep per year

Показатель / Indicator	Генотип / Genotype	
	50П/50П / 50P/50P	50П/50О / 50P/50O
Выход ягнят, гол. / Output of lambs, heads	1,12	1,14
Возраст первого окота, дни / Age at first lambing, days	697	533
Живая масса ягнят при рождении, кг / Live weight of lambs at birth, kg	4,22	4,45
Суточный прирост ягнят до 2-х мес., г / Daily growth of lambs up to 2 months, g	202,21	207,79
Прирост живой массы на овцематку за 2 мес. подсоса, кг / Live weight gain per sheep for 2 months of suction, kg	16,86	17,54
Суточный прирост молодняка от 2-х до 7 мес., г / Daily growth of young animals from 2 to 7 months, g	95,86	113,25
Прирост живой массы на овцематку за 5 мес. выращивания, кг / Live weight gain per sheep for 5 months of growing, kg	15,67	19,37
Производство валового прироста живой массы на одну овцематку за год, кг / Production of gross live weight gain per sheep per year, kg	32,53	36,91

Заключение. Скрещивание маток печорской породной группы с баранами остфризской породы снижает возраст первого ягнения полукровных помесей, способствует тенденциям улучшения качественных показателей шерсти при снижении затрат на стрижку в два раза, увеличения интенсивности роста молод-

няка. Это открывает большие перспективы к широкому использованию остфризов как в селекционных программах по сохранению и совершенствованию местного генофонда овец, так и для получения товарных продуктивных овцематок и помесного молодняка для производства баранины.

Список литературы

1. Mortimer S. I., van der Werf J. H., Jacob R. H., Hopkins D. L., Pannier L., Pearce K.L. et al. Genetic parameters for meat quality traits of Australian lamb meat. *Meat Sci.* 2014;96(2):1016-1024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.09.007>
2. Auvray B., McEwan J. C., Newman S. A., Lee M., Dodds K. G. Genomic prediction of breeding values in the New Zealand sheep industry using a 50K SNP chip. *J Anim Sci.* 2014; 92(10):4375-4389. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7801>
3. Abdoli R., Zamani P., Mirhoseini S. Z., Ghavi Hossein-Zadeh N., Nadri S. A review on prolificacy genes in sheep. *Reprod Domest Anim.* 2016;51(5):631-637. DOI: <https://doi.org/10.1111/rda.12733>
4. Berry D. P., Conroy S., Pabiou ., Cromie A. R. Animal breeding strategies can improve meat quality attributes within entire populations. *Meat Sci.* 2017;132:6-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.019>
5. Mortimer S. I., Hatcher S., Fogarty N. M., van der Werf J. H. J., Brown D. J., Swan A. A. et al. Genetic parameters for wool traits, live weight, and ultrasound carcass traits in Merino sheep. *J Anim Sci.* 2017;95(5):1879-1891. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1234>
6. Вениаминов А. А. Породы овец мира. М.: Колос, 1984. 207 с.
7. Ерохин А. И. Некоторые особенности породообразовательного процесса в современном отечественном овцеводстве. *Овцы, козы, шерстяное дело.* 2019;(4):50-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41564861>
8. Chambers G. Polypays may be answer to dream. *Idaho farmer - Stockman.* 1977;95(15):217-227.
9. Дмитриева Т. О. Создание мясного овцеводства в Северо-Западном Федеральном округе России. *Овцы, козы, шерстяное дело.* 2018;(1):2-4. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32639981>
10. Томилов В. П. О статистической обработке многолетних данных полевых опытов. *Земледелие.* 1987;(3):48-51.
11. Канев В. Ф. Разводите овец на подворье. Сыктывкар, 1991. 28 с.
12. Чупров Ф. Е. Разведение печорских мясошерстных овец на Севере. Труды ГСХОС Коми АССР им. А.В. Журавского. Вып. 4. Сыктывкар, 1982. 89 с.
13. Канева Л. А., Матюков В. С., Митюков А. С. Результаты зоотехнического обследования исчезающей популяции печорских овец в хозяйствах Крайнего Севера. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.* 2015;(40):95-99. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24853380>
14. Кравченко Н. И. Как вывести отрасль из затянувшегося кризиса. *Овцы, козы, шерстяное дело.* 2014;(1):4-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21305650>

15. Ульянов А. Н., Куликова А. Я. Селекционно-генетические аспекты повышения продуктивности овец южной мясной породы. Овцы, козы, шерстяное дело. 2019;(3):15-18. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41110271>
16. Ерохин А. И., Карасёв Е. А., Ерохин С. А. Скороспелость животных – важный селекционный признак. Овцы, козы, шерстяное дело. 2014;(4):22-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22829878>

References

1. Mortimer S. I., van der Werf J. H., Jacob R. H., Hopkins D. L., Pannier L., Pearce K. L. et al. Genetic parameters for meat quality traits of Australian lamb meat. Meat Sci. 2014;96(2):1016-1024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.09.007>
2. Auvray B., McEwan J. C., Newman S. A., Lee M., Dodds K. G. Genomic prediction of breeding values in the New Zealand sheep industry using a 50K SNP chip. J Anim Sci. 2014; 92(10):4375-4389. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7801>
3. Abdoli R., Zamani P., Mirhoseini S. Z., Ghavi Hossein-Zadeh N., Nadri S. A review on prolificacy genes in sheep. Reprod Domest Anim. 2016;51(5):631-637. DOI: <https://doi.org/10.1111/rda.12733>
4. Berry D. P., Conroy S., Pabiou T., Cromie A. R. Animal breeding strategies can improve meat quality attributes within entire populations. Meat Sci. 2017;132:6-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.019>
5. Mortimer S. I., Hatcher S., Fogarty N. M., van der Werf J. H. J., Brown D. J., Swan A. A. et al. Genetic parameters for wool traits, live weight, and ultrasound carcass traits in Merino sheep. J Anim Sci. 2017;95(5):1879-1891. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1234>
6. Veniaminov A. A. *Porody ovets mira*. [Breeds of sheep of the world]. Moscow: Kolos, 1984. 207 p.
7. Erokhin A. I. *Nekotorye osobennosti porodoobrazovatel'nogo protsessa v sovremennom otechestvennom ovtssevodstve*. [Some features of the breed-forming process in modern domestic sheep breeding]. Ovtzy, kozy, sherstyanoje delo. 2019;(4):50-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41564861>
8. Chambers G. Polypays may be answer to dream. Idaho farmer - Stockman. 1977;95(15):217-227.
9. Dmitrieva T. O. *Sozdanie myasnogo ovtssevodstva v Severo-Zapadnom Federal'nom okruge Rossii*. [Creation of meat sheep breeding in the North-Western Federal district of Russia]. Ovtzy, kozy, sherstyanoje delo. 2018;(1):2-4. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32639981>
10. Tomilov V. P. *O statisticheskoy obrabotke mnogoletnikh dannykh polevykh opytov*. [Statistical processing of long-term data of field experiments]. Zemledelie. 1987;(3):48-51. (In Russ.).
11. Kanev V. F. *Razvodite ovets na podvor'e*. [Breed sheep on the farmstead]. Syktyvkar, 1991. 28 p.
12. Chuprov F. E. *Razvedenie pechorskikh myasosherstnykh ovets na Seve-re*. [The breeding of Pechora meat-wool sheep in the North]. Trudy GSKhOS Komi ASSR im. A.V. Zhuravskogo. [Proceedings of the SAES Komi ASSR named after A.V. Zhuravsky]. Iss. 4. Syktyvkar, 1982. 89 p.
13. Kaneva L. A., Matyukov V. S., Mityukov A. S. *Rezultaty zootehnicheskogo obsledovaniya ischezayushchey populyatsii pechorskikh ovets v khozyaystvakh Kraynego Severa*. [Results of zootechnical survey of the disappearing population of Pechora sheep in the farms of the Far North]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2015;(40):95-99. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24853380>
14. Kravchenko N. I. *Kak vyvesti otrasl' iz zatyannuvshegosya krizisa*. [How to bring the industry out of the protracted crisis]. Ovtzy, kozy, sherstyanoje delo. 2014;(1):4-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21305650>
15. Ulyanov A. N., Kulikova A. Ya. *Selektsionno-geneticheskie aspekty povysheniya produktivnosti ovets yuzhnoy myasnoy porody*. [Selection and genetic aspects of increasing productivity of southern meat breed sheep]. Ovtzy, kozy, sherstyanoje delo. 2019;(3):15-18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41110271>
16. Erokhin A. I., Karasev E. A., Erokhin S. A. *Skorospelost' zhivotnykh – vazhnyy selektsionnyy priznak*. [Precocity of animals – an important selection sign]. Ovtzy, kozy, sherstyanoje delo. 2014;(4):22-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22829878>

Сведения об авторах

Жариков Яков Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела Печорская опытная станция, Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: zharikov.yakov@yandex.ru

✉ **Канева Лидия Александровна**, заведующая отделом Печорская опытная станция Института агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167023, e-mail: lidiya_kaneva_1979@mail.ru

Information about the authors

Yakov A. Zharikov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, A.V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya str. 27, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: zharikov.yakov@yandex.ru

✉ **Lydia A. Kaneva**, Head of the Department, A.V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya str. 27, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167023, e-mail: lidiya_kaneva_1979@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



ISSR-полиморфизм кур-несушек родительского стада бройлеров, различающихся по темпам роста и показателям продуктивности

© 2020 М. А. Григорьева^{1,2}, О. А. Величко², О. Н. Жигилева¹, И. В. Пак¹,
И. А. Виноградский¹, Р. Д. Рустамов¹✉, О. В. Трофимов¹

¹ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень, Российская Федерация,

²АО «ПРОДО Тюменский бройлер», г. Тюмень, Российская Федерация

Поиск биомаркеров высокой продуктивности у кур в настоящее время является одной из актуальных задач, стоящих перед птицеводством. В связи с этим целью нашего исследования явилось изучение генетических особенностей кур-несушек родительского стада гибридного кросса «Arbor Acres Plus», различающихся по признакам продуктивности. Работы проведены на предприятии АО «ПРОДО Тюменский бройлер», г. Тюмень, Тюменской области в 2018-2019 гг. на трех группах кур, численностью от 6000 до 6085 голов. Выращивание, оценку кур-несушек проводили в соответствии с руководством и нормативами по выращиванию родительского поколения Arbor Acres Plus и с разработанным на их основе и принятым на предприятии регламентом по технологии содержания родительского стада и взвешиванию птицы. Практика выращивания гибридного кросса производства «Arbor Acres Plus» показала, что в период роста наблюдается отчетливая дифференциация кур-несушек по массе тела. При этом выделяются быстрорастущие «крупные» особи, «мелкие» особи и особи «средние», занимающие промежуточное положение. В начале опыта на 18 неделе средняя масса кур «мелкие» была на 106 г меньше, чем у кур из группы «средние»; средняя масса кур из группы «средние» была меньше показателей группы «крупные» на 139 г, а различия между «крупными» и «мелкими» курами составили 245 г. Подобные различия сохранялись до 35-ой недели, впоследствии в значительной степени нивелировались. Различия между группами кур наблюдались также и в показателях яйценоскости, которые с увеличением возраста кур-несушек (31-33 недели) уменьшаются (количество яиц на несушку в неделю в среднем составило в группе «мелкие» 71,1%; «средние» – 72,8%; «крупные» – 74,4%). Для оценки генетического полиморфизма кур применяли метод ISSR-PCR. При этом было использовано семь праймеров: (AG)₈G, (AG)₈T, (CA)₈G, (GT)₈C, (AC)₈T, (TC)₈C, (TG)₈A. По результатам установили, что экспериментальные группы кур-несушек различались как по частотам ISSR-бэндов, так и по средним показателям полиморфизма. Более высокие показатели доли полиморфных бэндов (P), генетического разнообразия (h), наблюдаемого (n) и эффективного числа аллелей (n_e) отмечены в группе кур-несушек «крупные», в то время как группы «средние» и «мелкие» имели более низкие показатели и достоверно не различались по уровню полиморфизма между собой. Более высокие показатели ISSR-полиморфизма, полученные в группе быстрорастущих («крупные») кур-несушек, могут быть маркером более высокого уровня генетического разнообразия этой группы в сравнении с курами двух других групп. Проведенные исследования показали, что ISSR-маркеры могут быть рекомендованы в качестве простого инструмента для мониторинга генетического разнообразия стад кур-несушек.

Ключевые слова: скорость роста, яйценоскость, биомаркеры, полимеразная цепная реакция, ISSR-бэнды

Благодарности: работа выполнена при поддержке АО «ПРОДО Тюменский бройлер» и ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Григорьева М. А., Величко О. А., Жигилева О. Н., Пак И. В., Виноградский И. А., Рустамов Р. Д., Трофимов О. В. ISSR-полиморфизм кур-несушек родительского стада бройлеров, различающихся по темпам роста и показателям продуктивности. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(4):453-461.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.453-461>

Поступила: 02.06.2020

Принята к публикации: 27.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

ISSR polymorphism of laying hens of broiler parental stock distinguished by rates of growth and productivity indicators

© 2020. Marina A. Grygorieva^{1,2}, Oksana A. Velichko², Oksana N. Zhigileva¹,
Irina V. Pak¹, Ivan A. Vinogradsky¹, Rizvan D. Rustamov¹✉,
Oleg V. Trofimov¹

¹Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

²PRODO Tyumen broiler, Tyumen, Russian Federation

Searching for biomarkers of high productivity in chickens is currently one of the relevant tasks facing poultry farming. Thus, the research was aimed at studying genetic traits of laying hens. The hens belonged to parental stock of the «Arbor Acres Plus» hybrid cross and varied according to the productivity abilities. The study was carried out in 2018-2019 at the PRODO Tyumen Broiler factory located in Tyumen, Tyumen region on three groups of chickens numbering from 6000 to

6085 bird units. Raising and evaluation of laying hens were carried out in accordance with the «Arbor Acres Plus» guidelines and standards for breeding of the parental generation and the regulations for the technology of the parent stock management and bird weighing which were developed on the basis of those guidelines and standards and adopted at the factory. The practice of raising the «Arbor Acres Plus» hybrid cross revealed a distinct differentiation of laying hens by body weight during the growth period. There were distinguished fast-growing «large» individuals, «small» individuals and «medium» individuals occupying an intermediate position. At the beginning of the experiment, during the 18th week of age the average mass of «small» chickens was 106 g less than that of chickens from the «medium» group. The average mass of chickens from the «medium» group was 139 g less than the indications in the «large» group, and the differences between the «large» and the «small» hens amounted to 245 g. Such differences remained until the 35th week, and then they leveled out substantially. The differences between groups of chickens were observed also in egg production rates, which decreased with increasing the age of laying hens (by 31-33 weeks). The amount of eggs per layer per week averaged out at 71.1 % for «small» hens, 72.8 % for the «medium», and 74.4 % for the «large» ones. To assess the genetic polymorphism of chickens the ISSR-PCR method was applied. Seven primers were used to study the genetic polymorphism of laying hens: (AG)₈G, (AG)₈T, (CA)₈G, (GT)₈C, (AC)₈T, (TC)₈C, (TG)₈A. The experimental groups of laying hens differed both in the frequencies of ISSR bands and in the average indicators of polymorphism. Higher parameters of the proportion of polymorphic bands (P), genetic diversity (h), apparent (n_a) and effective number of alleles (n_e) were observed in the group of «large» laying hens, while the «medium» and «small» groups had lower rates and did not significantly differ in the level of polymorphism among themselves. Higher rates of ISSR polymorphism observed in the group of fast-growing («large») laying hens could be a marker of a higher level of genetic diversity in this group compared to chickens from the other two groups. The conducted studies showed that ISSR markers can be recommended as a simple tool for monitoring the genetic diversity of stocks of laying hens.

Keywords: growth rate, egg production, biomarkers, polymerase chain reaction (PCR), ISSR bands

Acknowledgement: the research was supported by PRODO Tyumen Broiler and Tyumen State University.

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: Grygorieva M. A., Velichko O. A., Zhigileva O. N., Pak I. V., Vinogradsky I. A., Rustamov R. D., Trofimov O. V. ISSR polymorphism of laying hens of broiler parental stock distinguished with rates of growth and productivity indicators. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):453-461. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.453-461>

Received: 02.06.2020

Accepted for publication: 27.07.2020

Published online: 24.08.2020

Выяснение причин, лежащих в основе экономически важных признаков кур, таких как высокая скорость роста, яйценоскость, устойчивость к заболеваниям представляет интерес для современных производителей. Устойчивость кур к заболеваниям и различия в скорости роста часто связывают с одиночными нуклеотидными заменами (SNP-полиморфизмами). Было выявлено, что высокая скорость роста и устойчивость к кокцидиозу (заражению *Eimeria tenella*) у цыплят-бройлеров связана с двумя однонуклеотидными заменами в генах, участвующих в неспецифическом иммунном ответе (FAM96B и RRAD), а SNP-полиморфизмы, связанные с массой тела, затрагивали гены, расположенные в непосредственной близости от генов FAM96B и RRAD [1]. Было высказано предположение о связи яйценоскости и качества яйца (оценка прокола, высота белка, вес желтка и цвет скорлупы) с отдельными (от 1 до 7) областями локуса количественного признака (QTL) [2]. Показано, что SNP-полиморфизмы по четырём генам-кандидатам (рецептор витамина D, VDR; инсулин, INS; инсулиноподобный фактор роста 1, IGF1; остеопонтин, SPP1) могут лежать в основе различий по таким признакам, как прочность кости, яйценоскость, качество яйца и скорость

роста цыплят-бройлеров [3]. Была показана зависимость качества скорлупы от однонуклеотидных замен [4, 5, 6]. Исследования быстро- и медленно растущих линий кур показали, что различия могут быть связаны с мРНК. Использование 16-поколений от скрещивания быстро-растущих и медленно растущих линий цыплят-бройлеров позволило выявить область на хромосоме 4, которая ответственна за разницу веса тела до 19 % в возрасте 12 недель. Животные, обладающие высокой скоростью роста, имеют более низкую экспрессию мРНК и иммунореактивного цитокина CCKAR в головном мозге, связанную с регуляцией аппетита птицы [7]. Данные работы открывают новые возможности для исследований по поиску биомаркеров высокой скорости роста и стрессоустойчивости. Однако используемые в этих работах методы дорогостоящие, в то время как возможности метода ISSR-PCR не до конца исчерпаны. По мнению ученых, для дальнейшего успешного развития птицеводства необходимо продолжить поиск биомаркеров количественных признаков (массы тела, яйценоскости), связанных с производством [8, 9, 10]. Возможным частичным решением этой проблемы могут быть показатели генетической изменчивости кур (ISSR-полиморфизм).

Цель исследований – изучить генетические особенности кур-несушек родительского стада производства гибридного кросса «Arbor Acres Plus», различающихся по признакам продуктивности.

Материал и методы. Бонитировку и формирование групп проводили в производственных условиях на предприятии АО «ПРОДО Тюменский бройлер»; исследования по оценке генетического полиморфизма кур – в Центре биотехнологии и генодиагностики Тюменского государственного университета в период с 2018 по 2019 г.

Объектом исследования являлись куры – несушки кросса «Arbor Acres Plus» – гибридный кросс высокопродуктивных бройлеров (общее поголовье в опыте составило 18170 особей). До возраста 18 недель (в 4 недели и 10 недель) была проведена индивидуальная бонитировка (оценка и отбор ремонтного молодняка по живой массе, экстерьеру и половому признаку) с последующей сортировкой по живой массе ремонтного молодняка родительского поголовья. В возрасте 18 недель была проведена оценка качества родительского поголовья по нормативным показателям однородности (по живой массе $\pm 10\%$ отклонений от средней живой массы по стаду)^{1, 2} и разработанным на их основе и принятым на предприятии регламентам по технологии содержания родительского стада и взвешиванию птицы. На основе отбора сформировали три группы, различающиеся по живой массе: «мелкие» (средняя масса – 1851 г, 6000 гол.), «средние» (1957 г, 6085 гол.), «крупные» (2096 г, 6085 гол.). Дальнейшее содержание, кормление кур осуществляли в соответствии с нормативными показателями по родительскому стаду согласно руководству по выращиванию кросса «Arbor Acres Plus»³. Условия содержания (температурный и световой режимы, влажность, плотность посадки, фронт кормления и поения) в трех экспериментальных группах были идентичными. Ежедневно проводили взвешивание в каждой группе кур методом случайной выборки в трех зонах секций (начале, середине и конце) птичника,

согласно методике индивидуального взвешивания кур в период яйцекладки⁴. Взвешивание производили на весах марки «BAT1 poultry scale» VEIT electronics (Czech Republic). В период исследований ежедневно учитывали численность, падеж и выбраковку кур-несушек родительского стада. Выбраковывали ослабленных, с визуально определяемыми проблемами конечностей (травмами, утолщениями и разрывами связок, воспалением суставов, ослабленных и непригодных для дальнейшего производства). Яйценоскость оценивали по относительному показателю «яйценоскость на 1 среднюю несушку в неделю» (поголовье кур несушек на текущую неделю)⁵.

Для оценки генетического полиморфизма кур применяли метод ISSR-PCR – inter simple sequence repeat PCR (ПЦР последовательностей, ограниченных простыми повторами) [11]. ISSR-PCR-маркеры являются разновидностью общеизвестных RAPD-маркеров и относятся к категории мультилокусных маркеров ДНК. Эти межмикросателлитные последовательности распределены по всему геному и отражают его изменчивость в целом, включая кодирующую и не кодирующую части, в том числе регуляторные последовательности [12].

Забор образцов мышечной ткани для генетических исследований осуществляли в середине эксперимента у кур в возрасте 25 недель. Образцы были зафиксированы в 70 % этаноле и хранились при температуре 20 °С. Всего было отобрано по 20 образцов из каждой экспериментальной группы. ДНК экстрагировали методом щелочного лизиса [13]. Для ISSR-PCR использовали семь праймеров состава (AG)₈G, (AG)₈T, (CA)₈G, (GT)₈C, (AC)₈T, (TC)₈C, (TG)₈A. Амплификацию проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей ПЦР буфер (0,01 М трис-HCl, 0,05 М KCl, 0,1 % тритон X-100), 4 мМ MgCl₂, 0,2 мМ каждого из dNTPs, 1 мкл раствора тотальной ДНК, 2,5 мМ праймера и 0,2 ед/мкл Tag-полимеразы, в следующем режиме: 94 °С – 7 мин; затем 94 °С – 30 с, 52 °С – 45 с, 72 °С – 2 мин (40 циклов); 72 °С – 7 мин. Анализ ПЦР-фрагментов осуществляли в 2%-ном агарозном геле.

¹ Arbor Acres. Родительское поголовье. Руководство. Aviagen. 2016. URL: <http://www.vipp-agriservices.com/downloads/AA-breeder-manual-ru.pdf>

² Arbor Acres Plus. Нормативные показатели родительского поголовья Aviagen. 2016.

URL: https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AAFF-PS-PO-RU-2016.pdf

³ Arbor Acres. Родительское поголовье. Руководство. Aviagen. 2016.

URL: <http://www.vipp-agriservices.com/downloads/AA-breeder-manual-ru.pdf>

⁴ Arbor Acres Plus. Нормативные показатели родительского поголовья Aviagen. 2016.

URL: https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AAFF-PS-PO-RU-2016.pdf

⁵ Там же. URL: https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AAFF-PS-PO-RU-2016.pdf

Длины фрагментов определяли с помощью маркера молекулярных масс ДНК 100 bp. Гели документировали с помощью системы Versa-Doc (Bio-Rad, USA).

Статистическую обработку данных (расчет средних, ошибки, коэффициенты вариации, достоверности различий) проводили с использованием пакета прикладных программ «Statistica» (Stat Soft, USA). Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента (t-тест). Показатели генетического полиморфизма: доли полиморфных бэндов (P), генетическое разнообразие (h), наблюдаемое (n_e) и эффективное число аллелей (n_a), индексы генетического подобия (IN) и генетические дистанции Нея (D), рассчитывали по программе Popgen⁶.

Результаты и их обсуждение. Определение численности кур-несушек, разделенных на три группы по скорости роста, выявило более низкие показатели, характеризующие жизнеспособность (сохранность – число голов в конце недели) в группе кур «мелкие». Показатели (число голов в конце недели) кур из двух других групп: «средние» и «крупные», различались несущественно (рис. 1). В начале эксперимента (на 18 неделе) в группах насчитывалось примерно одинаковое количество голов: в группе «мелкие» – 6000 шт., «средние» и «крупные» – по 6085 шт. Динамика изменения численности носила сходный характер в трех группах кур до 46 недели. Начиная с этого периода, у кур из группы «мелкие» отмечены более низкие показатели численности в сравнении с курами двух других. Рацион кур был одинаковым во всех группах. Потребление корма соответствовало общепринятым нормам. Самые низкие средние показатели падежа за весь период эксперимента отмечены в группе «средние» – 4,42 %; показатели падежа в остальных группах различались на 0,6 % («мелкие» – 5,97 %; «крупные» – 5,37 %). На численность кур в группах оказала влияние и выбраковка, которая в среднем по каждой группе составила: «мелкие» – 5,85 %; «средние» – 3,99 %; «крупные» – 3,75 %. Наибольшее количество кур было отбраковано в период с 22 по 25 неделю.

Анализ изменения массы кур в трех наблюдаемых группах показал, что преимуще-

ство в скорости роста у «крупных» кур над «средними» и «мелкими» сохраняется до 35 недели, а затем различия в значительной степени нивелируются (рис. 2). В начале опыта на 18 неделе средняя масса кур в группе «мелкие» была на 106 г меньше, чем у кур группы «средние» (масса – 1957 г); средняя масса кур из группы «средние» была меньше показателей группы «крупные» на 139 г, а различия между «крупными» и «мелкими» курами составили 245 г. На 35 неделе различия по массе уменьшились и составили соответственно: 18 г («мелкие» – «средние»), 46 г («средние» – «крупные») и 64 г («мелкие» – «крупные»). В возрасте 57 недель различия в средних показателях по массе тела у кур разных групп практически не выявлялись. Сравнение с нормативными показателями⁷ выявило нарастание преимущества по массе тела кур во всех трех группах в сравнении с нормой, начиная с 28 недели. К концу 57 недели превышение средних показателей по массе кур во всех группах в сравнении с нормой составило от 344 г до 396 г (рис. 2).

Наиболее отчетливо различия по массе проявились у кур-несушек в возрасте 25 недель (табл. 1). Определение индивидуальной массы у кур из каждой группы (по 45 особей) выявило статистически достоверные различия между группами кур «мелкие» и «крупные». «Крупные» куры значительно опережали по скорости роста «мелких». Различия по массе тела между «мелкими» и «средними» курами, «средними» и «крупными» составили 58 г и 124 г соответственно, однако не носили статистически достоверного характера. Изменчивость по этому признаку во всех исследованных группах была невысокой. Максимальный показатель коэффициента вариации 5,4 % отмечен в группе кур «мелкие». По показателям изменчивости группы кур «средние» и «крупные» практически не отличались друг от друга.

Оценка «% яйцекладки» (яйценоскость на среднюю несушку в неделю, %) показала: в период с 26 по 30 неделю этот показатель в трех экспериментальных группах значительно превышал нормативный⁸ (рис. 3).

⁶Yeh F.C., Yang R., Boyle T. POPGENE. Version 1.31. University of Alberta and Centre for International Forestry Research. 1999. URL: https://sites.ualberta.ca/~fyeh/popgene_download.html

⁷Arbor Acres Plus. Нормативные показатели родительского поголовья Aviagen. 2016.

URL: https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AAFF-PS-PO-RU-2016.pdf

⁸Там же. URL: https://ru.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/AAFF-PS-PO-RU-2016.pdf

Однако с увеличением возраста (31-33 недели) эти различия уменьшились, а затем исчезли. В период с 34 по 51 неделю яйценоскость кур остается на уровне нормы во всех группах. Начиная с 52 недели, отмечается превышение нормативных показателей в группе «крупные»

(превышение нормативного показателя от 3,24 % в возрасте 52 недели до 6,27 % в возрасте 57 недель). У «средних» кур превышение нормативных показателей не столь значительное, как у «крупных» (от 1,77 % в возрасте 51 недели до 5,72 % в возрасте 57 недель).

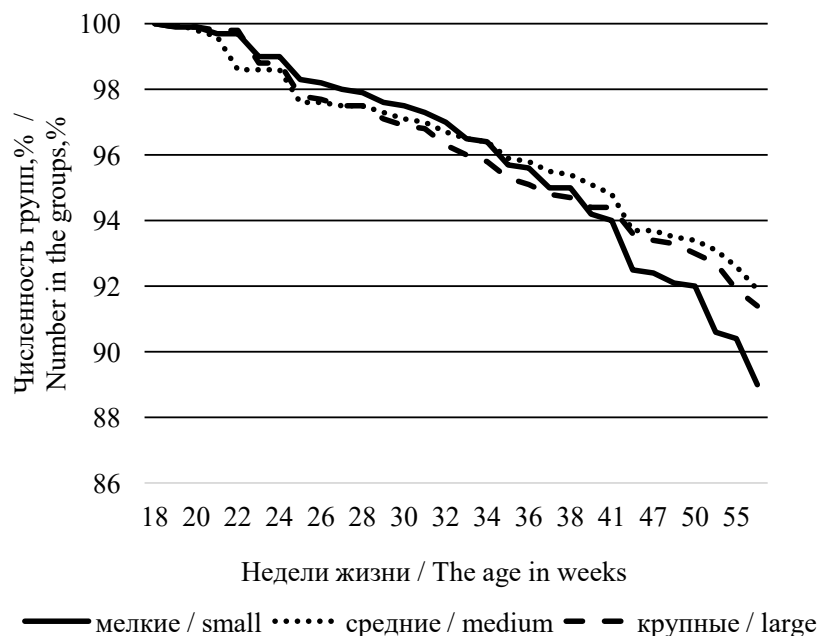


Рис. 1. Численность групп кур-несушек в разные периоды выращивания. Количество кур на 18 неделе: в группе «мелкие» – 6000 шт., «средние» – 6085 шт., «крупные» – 6085 шт. (численность в % рассчитывалась от численности в возрасте 18 недель) /

Fig. 1. The number groups of laying hens in different periods of raising. The number of chickens at the age of 18 weeks: in "small" group – 6,000 pcs., in "medium" – 6085 pcs., in "large" – 6085 pcs. (the number in % was calculated from the number at the age of 18 weeks)

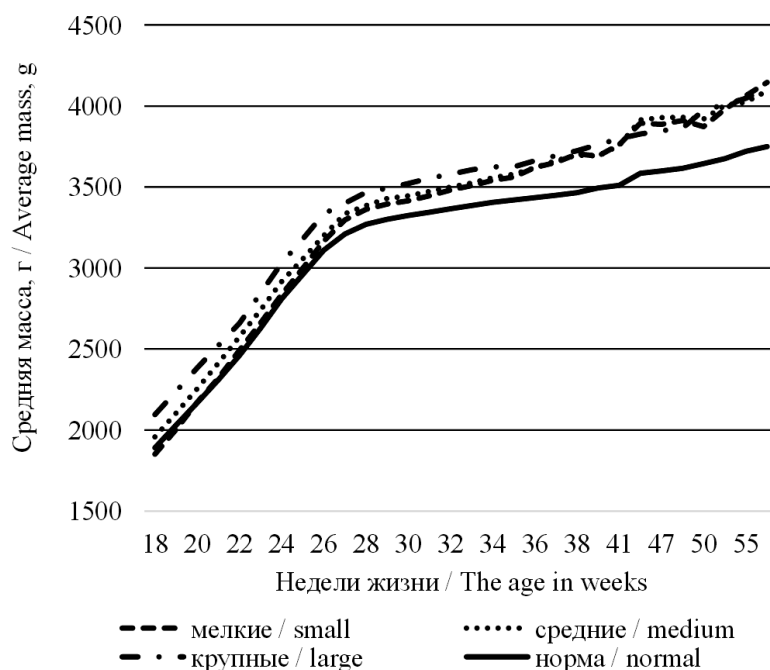


Рис. 2. Изменение средней массы кур-несушек исследуемых групп за период выращивания /
Fig. 2. The change in the average mass of laying hens studied groups during the raising period

Таблица 1 – Различия по массе групп кур-несушек (возраст 25 недель) /
Table 1 – Differences in weight between of groups of laying hens (at the age of 25 weeks)

Показатель / Index	Группа / Group		
	мелкие / small	средние / medium	крупные / large
Средняя масса, г / Average weight, g	2998,00±23,90	3056,00±21,91	3180,00±22,39*
Коэффициент вариации, CV% / Coefficient of variation, CV%	5,40	5,12	5,10
Масса кур min - max, г / Mass of chickens minx - max, g	2641-3353	2732-3420	2851-3564

* Различия между группами кур «мелкие» и «крупные» статистически достоверны при $p < 0,05$; * различия между группами кур «средние» и «крупные» статистически достоверны при $p < 0,05$ / * Differences between the groups of small and large chickens are statistically reliable at $p < 0.05$; * differences between the groups of medium and large chickens are statistically reliable at $p < 0.05$;

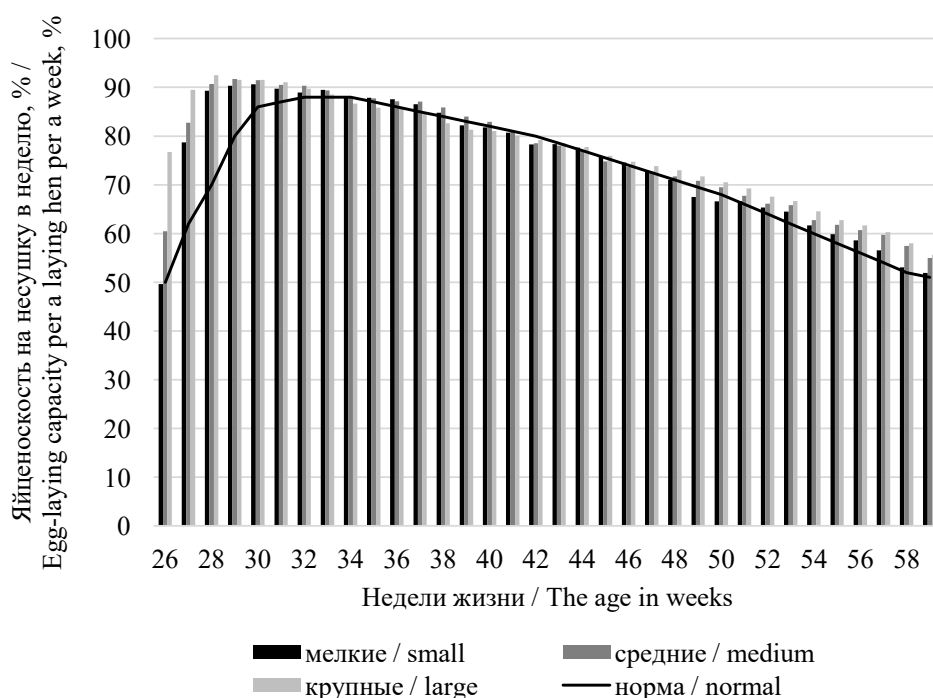


Рис. 3. Яйценоскость кур-несушек исследованных групп /
Fig. 3. Egg-laying capacity of the laying hens from studied groups

Для изучения генетического полиморфизма кур-несушек было использовано семь праймеров. Количество амплифицированных фрагментов варьировало от 7 до 15 на каждый праймер и в общем составило 74. По всем праймерам был выявлен полиморфизм, но количество полиморфных бэндов варьировало в разных группах кур от 3 до 12 (табл. 2).

Экспериментальные группы кур-несушек различались как по частотам ISSR-бэндов, так и по средним показателям полиморфизма. Более высокие показатели доли полиморфных бэндов (P), генетического разнообразия (h), наблюдаемого (n_e) и эффективного

числа аллелей (n_a) отмечены в группе быстрорастущих кур-несушек, в то время как группы «средние» и «мелкие» имели более низкие показатели и достоверно не различались по уровню полиморфизма между собой (табл. 3).

По совокупности частот бэндов были рассчитаны индексы генетического подобия (IN) и генетические дистанции Нея (D) между группами кур⁹. Индекс подобия между группами кур-несушек «средние» и «мелкие» составил 0,975, и был выше, чем между этими группами и группой «крупные» (0,942 и 0,931 соответственно).

⁹Yeh F.C., Yang R., Boyle T. POPGENE. Version 1.31. University of Alberta and Centre for International Forestry Research. 1999. URL: https://sites.ualberta.ca/~fyeh/popgene_download.html

Таблица 2 – Показатели ISSR-полиморфизма групп кур-несушек, отличающихся по темпам роста /
Table 2 – Indicators of ISSR polymorphism of the laying hen groups differing in growth rates

Праймер / Primer	Количество амплифицированных фрагментов / The number of amplified fragments	Количество полиморфных фрагментов в группе / The number of polymorphous fragments in group		
		крупные / large	средние / medium	мелкие / small
(AG) ₈ G	15	12	7	7
(AG) ₈ T	13	6	6	6
(CA) ₈ G	12	8	6	6
(GT) ₈ C	8	5	5	6
(AC) ₈ T	9	6	4	5
(TC) ₈ C	10	5	5	6
(TG) ₈ A	7	7	3	3

Таблица 3 – Показатели ISSR-полиморфизма групп кур-несушек, отличающихся по темпам роста /
Table 3 – Indicators of ISSR polymorphism of the laying hen groups differing in growth rates

Группа / Group	Число полиморфных бэндов / The number of polymorphous bands	P, %	h	n _c	n _a
Крупные / Large	49	66,22	0,254	1,45	1,66
Средние / Medium	36	48,65	0,178	1,31	1,49
Мелкие / Small	38	51,35	0,182	1,32	1,51

Закключение. Таким образом, проведенные исследования выявили генетические различия между тремя группами исследованных кур-несушек. Генетические дистанции между первой группой кур-несушек, с одной стороны, и второй и третьей группами, с другой, составили 0,059 и 0,071 соответственно, и были выше, чем между второй и третьей группами (0,026). Показатели полиморфизма и генетического разнообразия в группе кур-несушек «крупные» были в 1,3-1,4 раза выше, чем в группах «средние» и «мелкие». Выявленные различия по показателям продуктивности (масса тела, яйценоскость) наиболее отчетливо проявлялись в нашем исследовании до 35 недели, в более поздние периоды наблюдения эти различия сглаживались. В начале опыта на 18 неделе средняя масса кур «мелкие» была на 106 г меньше, чем у кур группы «средние»; средняя масса кур из группы «средние» была меньше показателей группы «крупные» на 139 г, а различия между «крупными» и «мелкими» курами составили 245 г. Подобные различия сохраняются до 35-ой недели, в дальнейшем в значительной степени нивелируются. Различия между группами кур наблюдаются также и в показателях яйценоскости, которые с увеличением

возраста кур-несушек (31-33 недели) уменьшаются (количество яиц на несушку в неделю в среднем составило у кур «мелкие» 71,1 %; «средние» – 72,8%; «крупные» – 74,4 %). Три группы кур-несушек различаются по уровню гетерозиготности: более высокий показатель отмечен у крупных кур (0,254), средние и мелкие куры-несушки имели примерно равные показатели (0,178 и 0,182 соответственно). Более высокие показатели ISSR-полиморфизма, отмеченные в группе быстро-растущих («крупные») кур-несушек, могут быть маркером более высокого уровня генетического разнообразия этой группы в сравнении с курами из двух других групп. Известно, что от уровня гетерозиготности организма во многом зависит скорость роста и репродуктивная функция живых организмов [15]. Возможно, преимущество кур-несушек группы «крупные» по признакам продуктивности обусловлено их более высокой гетерозиготностью. В связи с этим, поддержание оптимального уровня генетического разнообразия является необходимым условием высокой продуктивности и темпов роста кур-несушек, особенно в раннем возрасте.

Проведенные исследования показали, что ISSR-маркеры могут быть рекомендованы

в качестве простого в исполнении и относительно недорогого инструмента для мониторинга генетического разнообразия стад кур-

несушек с целью поддержания более высокой их продуктивности и для дальнейшей селекционной работы.

References

1. Boulton K., Nolan M. J., Wu Z., Psifidi A., Riggio V., Harman K., Bishop S. C., Kaiser P., Abrahamson M. S., Hawken R., Watson K. A., Tomley F. M., Blake D. P., Hume D. A. Phenotypic and genetic variation in the response of chickens to *Eimeria tenella* induced coccidiosis. *Genetics Selection Evolution*. 2018; 50(1):63. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0433-7>
2. Wolc A., Arango J., Jankowski T., Dunn I., Settar P., Fulton J. E., O'Sullivan N. P., Preisinger R., Fernando R. L., Garrick D. J., Dekkers J. C. M. Genome-wide association study for egg production and quality in layer chickens. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2014; 131(3):173-182. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbg.12086>
3. Bennett A. K., Hester P. Y., Spurlock D. E. M. Polymorphisms in vitamin D receptor, osteopontin, insulin-like growth factor 1 and insulin, and their associations with bone, egg and growth traits in a layer - Broiler cross in chickens. *Animal Genetics*. 2006; 37(3):283-286. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2006.01439.x>
4. Honkatukia M., Tuiskula-Haavisto M., De Koning D.-J., Virta A., Mäki-Tanila A., Vilkkilä J. A region on chicken chromosome 2 affects both egg white thinning and egg weight. *Genetics Selection Evolution*. 2005; 37(5):563-577. DOI: <https://doi.org/10.1051/gse:2005016>
5. Dunn I. C., Joseph N. T., Bain M., Edmond A., Wilson P. W., Milona P., Nys Y., Waddington D. Polymorphisms in eggshell organic matrix genes are associated with eggshell quality measurements in pedigree Rhode Island Red hens. *Animal Genetics*. 2009; 40(1):110-114. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2052.2008.01794.x>
6. Jiang R. S., Xie Z., Chen X. Y., Geng Z. Y. A single nucleotide polymorphism in the parathyroid hormone gene and effects on eggshell quality in chickens. *Poultry Science*. 2010; 89(10):2101-2105. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00888>
7. Dunn I. C., Meddle S. L., Wilson P. W., Wardle C. A., Law A. S., Bishop V. R., Hindar C., Hocking P. M. Decreased expression of the satiety signal receptor CCKAR is responsible for increased growth and body weight during the domestication of chickens. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*. 2013; 304(9):909-921. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00580.2012>
8. Hansen C., Yi N., Zhang Y. M., Xu S., Gavora J., Cheng H. H. Identification of QTL for production traits in chickens. *Animal Biotechnology*. 2005; 16(1):67-79. DOI: <https://doi.org/10.1081/ABIO-200055016>
9. Buyarov V. S., Chervonova I. V., Buyarov A. V., Aldobaeva N. A. *So-vremennye myasnye i yachnyye krossy kur: zootekhnicheskie i ekonomicheski aspekty*. [Modern meat and egg crosses of chicken: zootechnical and economic aspects. *vestnik of voronezh state agrarian university*]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2018; 2(57):88-99. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35258002>
10. Mitrofanova O. V., Dement'eva N. V., Krutikova A. A. *Polimorfizm v promotore gena prolaktina i ego assotsiatsiya s napravleniem pro-aktivnosti u kur*. [Polymorphism in promoter of prolactin gene and its association with production traits in chickens]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*. 2015; 111(7):1-10. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/polimorfizm-v-promotore-gena-prolaktina-i-ego-asso-tsiatsiya-s-napravleniem-produktivnosti-u-kur>
11. Zietjiewicz E., Rafalski A., Labuda D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics*. 1994; 20(2):176-183. DOI: <https://doi.org/10.1006/geno.1994.1151>
12. Williams J.G.K., Kubelik A.R., Livak K.J. DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*. 1990; 18(22): 6531-6535.
13. Bender W., Pierre S., Hognes D.S. Chromosomal walking and jumping to isolate DNA from Ace and rosy loci of bithorax complex in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Molecular Biology*. 1983; 168:17-33. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(83\)80320-9](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(83)80320-9)

Сведения об авторах

Григорьева Марина Алексеевна, аспирант Института биологии, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Пирогова, д. 3, г. Тюмень, Российская Федерация, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, ведущий технолог ОА «ПРОДО Тюменский бройлер», с. Каскара, Тюменская обл., Тюменский район, Российская Федерация, 625512, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6296-4962>, e-mail: M.GRIGOREVA@tumen.prodo.ru

Величко Оксана Александровна, доктор с.-х. наук, директор ОА «ПРОДО Тюменский бройлер», с. Каскара, Тюменская обл., Тюменский район, Российская Федерация, 625512, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2448-0689>, e-mail: voa@tumen.prodo.ru

Жигилева Оксана Николаевна, доктор биол. наук, профессор кафедры экологии и генетики Института биологии, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Пирогова, д. 3, г. Тюмень, Российская Федерация, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3782-3014>, e-mail: zhigileva@mail.ru

Пак Ирина Владимировна, доктор биол. наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и генетики Института биологии, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Пирогова, д. 3, г. Тюмень, Российская Федерация, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7038-2583>, e-mail: pakiv57@mail.ru

Виноградский Иван Александрович, студент 5 курса Института биологии, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Пирогова, д. 3, г. Тюмень, Российская Федерация, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, e-mail: vinogradskiy.vanechka@mail.ru

✉ **Рустамов Ризван Дилман оглы**, аспирант кафедры экологии и генетики Института биологии, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Пирогова, д. 3, г. Тюмень, Российская Федерация, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7046-8405>, e-mail: rizvanich@mail.ru

Трофимов Олег Владимирович, кандидат биол. наук, доцент кафедры экологии и генетики Института биологии, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», ул. Пирогова, д. 3, г. Тюмень, Российская Федерация, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0086-1180>, e-mail: oleg_v_trofimov@mail.ru

Information about the authors

Marina A. Grigorieva, postgraduate, Tyumen State University, Institute of Biology, Pirogov St., 3, Tyumen, Russian Federation, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, Leading Technologist PRODO Tyumen Broiler, village of Kaskara, Tyumen Region, Russian Federation, 625512, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6296-4962>, e-mail: M.GRIGOREVA@tumen.prodo.ru

Oksana A. Velichko, DSc in Agricultural Science, Director of the PRODO Tyumen Broiler, village of Kaskara, Tyumen Region, Russian Federation, 625512, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2448-0689>, e-mail: voa@tumen.prodo.ru

Oksana N. Zhigileva, DSc in Biological science, professor, Tyumen State University, Institute of Biology, Pirogov St., 3, Tyumen, Russian Federation, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3782-3014>, e-mail: zhigileva@mail.ru

Irina V. Pak, DSc in Biological science, professor, Head of the Department of Ecology and Genetics, Tyumen State University, Institute of Biology, Pirogov St., 3, Tyumen, Russian Federation, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7038-2583>, e-mail: pakiv57@mail.ru

Ivan A. Vinogradsky, student, Tyumen State University, Institute of Biology, Pirogov St., 3, Tyumen, Russian Federation, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, e-mail: vinogradskiy.vanechka@mail.ru

✉ **Rizvan D. Rustamov**, postgraduate, Tyumen State University, Institute of Biology, Pirogov St., 3, Tyumen, Russian Federation, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7046-8405>, e-mail: rizvanich@mail.ru

Oleg V. Trofimov, PhD in Biological science, associate professor, Tyumen State University, Institute of Biology, Pirogov St., 3, Tyumen, Russian Federation, 625043, e-mail: biologia.91@mail.ru, inbio@utmn.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0086-1180>, e-mail: oleg_v_trofimov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474>

УДК 332.146.2: 332.142.4

К вопросу о научных основах разработки стратегий развития сельских территорий

© 2020. А. И. Костяев ✉

ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье представлены результаты систематизации научных основ разработки стратегий развития сельских территорий. Осуществлено объединение в единое целое теории, методологии и методов решения данного вопроса. Приведена группировка научных аспектов стратегий в разрезе ключевых вопросов их разработки. Обоснован выбор парадигмы сельского развития. Применительно к развитию сельских территорий сформулирована сущность понятия «стратегия». В определении сущности стратегии отражены многофункциональность, цели и задачи, ресурсный потенциал и социально-экономическая среда развития сельских территорий. Установлены подходы к оценке условий и факторов эндогенного сельского развития. Для оценки внутренних и внешних факторов рекомендовано использовать SWOT-анализ, для внешних – PEST-анализ. Предложены методы целеполагания и оценки приоритетов при решении задач сельского развития. Целеполагание рекомендовано осуществлять на основе декомпозиции генеральной цели стратегии. Генеральная цель определена как переход сельских территорий от экзогенного к эндогенному пути развития при повышении конкурентоспособности сельской экономики и росте качества жизни сельского населения. Совокупность стратегических целей и задач в стратегии предложено направить на перестройку процесса развития сельских территорий с ориентации исключительно на доминирование внешней поддержки к максимально возможному использованию внутреннего потенциала. Определение приоритетов решения задач по достижению генеральной цели стратегии рекомендовано осуществлять методом экспертных оценок с использованием построенного «дерева целей». Механизм реализации стратегий в рамках парадигмы эндогенного развития сельских территорий предложено строить на широком использовании «сельских сетей». Сети в этом случае рассматриваются в качестве гибридной формы координации развития сельских территорий, лежащей между иерархией и рынком.

Ключевые слова: проблемы, цели, задачи, мероприятия, целеполагание, ресурсный потенциал, методы, парадигма, многофункциональность, регионы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (тема № 00668-2014-0008).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Костяев А. И. К вопросу о научных основах разработки стратегий развития сельских территорий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):462-474. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474>

Поступила: 21.05.2020

Принята к публикации: 03.07.2020

Опубликована онлайн: 24.08.2020

On the scientific basis for developing rural development strategies

© 2020. Alexander I. Kostyaev ✉

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

The article presents the results of the systematization of the scientific foundations for developing rural development strategies. The theory, methodology and methods of solving this problem have been merged into a single whole. Grouping of the scientific aspects of strategies in the context of key issues of their development is given. The choice of the paradigm of rural development is justified. In relation to the development of rural territories, the essence of the concept of “strategy” is formulated. The definition of the essence of the strategy reflects multifunctionality, goals and objectives, resource potential and the socio-economic environment for the development of rural areas. The approaches to assessing the conditions and factors of endogenous rural development are established. To evaluate internal and external factors, it is recommended to use SWOT analysis, for external ones - PEST analysis. The methods of goal-setting and assessment of priorities in solving the problems of rural development are proposed. Targeting is recommended based on the decomposition of the general goal of the strategy. The general goal is defined as the transition of rural territories from an exogenous to an endogenous path of development while increasing the competitiveness of the rural economy and increasing the quality of life of the rural population. The set of strategic goals and objectives in the strategy is proposed to be directed to the restructuring of the development of rural areas with a focus solely on the dominance of external support to the maximum possible use of internal potential. It is recommended that prioritization of the solution of tasks to achieve the general goal of the strategy be carried out by the method of expert evaluations using the constructed “goal tree”. It is proposed to build the mechanism for the implementation

of strategies within the framework of the paradigm of endogenous development of rural territories on the widespread use of "rural networks". Networks in this case are considered as a hybrid form of coordination of the development of rural areas lying between the hierarchy and the market.

Keywords: problems, goals, objectives; measures, goal-setting, resource potential, methods, paradigm, multifunctionality, regions

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the (theme No. 00668-2014-0008).

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

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

For citation: Kostyaev A. I. On the scientific basis for developing rural development strategies. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(4):462-474. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.462-474>

Received: 20.05.2019

Accepted for publication: 03.07.2020

Published online: 24.08.2020

В настоящее время разработана и является действующей «Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года», утверждённая Распоряжением Правительства России от 2.02.2015 №151-р (Стратегия-2030). На уровне субъектов Федерации имеется «Стратегия устойчивого развития сельских территорий Псковской области до 2030 года», утверждённая распоряжением Администрации области от 31.10.2017 N 674-р. Наряду с этим, практически для всех регионов России разработаны стратегии их социально-экономического развития, научные основы подготовки которых в определенной мере (методология, принципы, методы и т. п.) представлены в «Методических рекомендациях ...», утвержденных приказом Минэкономразвития России от 23.03.2017 №132. Кроме этого, во многих субъектах Федерации разрабатываются стратегии социально-экономического развития муниципальных образований, определенная научность которых обеспечивается благодаря принятым в регионах методикам. Такие методики имеются в Республике Башкортостан¹, Красноярском крае², Воронежской³, Свердловской⁴, Томской⁵ областях и ряде других регионов страны.

В то же время общепринятых научных рекомендаций по разработке региональных и муниципальных стратегий развития сельских территорий в стране не существует. Имеющиеся методики для стратегий социально-экономического развития субъектов Федерации и муниципальных образований лишь частично могут использоваться для решения проблем сельского развития в долгосрочной перспективе. Задачи, стоящие в настоящее время перед органами управления регионов и субъектами местного самоуправления, вызывают необходимость создания научных основ разработки стратегий развития сельских территорий.

Публикации, посвященные данной тематике, встречаются крайне редко, что связано, вероятно, с тем, что региональные стратегии сельского развития в массовом порядке до сих пор не разрабатывались. В той или иной степени данные вопросы представлены в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. В публикациях [1, 2, 3, 4, 5] мы находим определение сущности понятия «стратегия». Важнейшие теоретико-методологические вопросы подготовки стратегий развития сельских территорий – принципы её разработки рассмотрены в работах А. А. Ломакина и М. Ю. Федотовой [4], О. Ю. Савенковой [5], В. Н. Блохина [7] и др.

¹Методические рекомендации по разработке стратегий социально-экономического развития муниципальных районов (городских округов) Республики Башкортостан [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://arhangel.bashkortostan.ru/documents/active/127400/> (дата обращения: 26.06.2020).

²Методические рекомендации по формированию стратегий социально-экономического развития городских округов и муниципальных районов Красноярского края на период до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bogotolcity.ru/upload/files/strategy/metod2030.pdf> (дата обращения: 26.06.2020).

³Методические рекомендации по разработке стратегии социально-экономического развития муниципального района (городского округа) Воронежской области [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/444891671> (дата обращения: 26.06.2020).

⁴Методические рекомендации по разработке (актуализации) стратегий социально-экономического развития муниципальных образований, расположенных на территории Свердловской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://shgo.midural.ru/uploads/208-III.pdf> (дата обращения: 26.06.2020)

⁵Методические рекомендации по разработке стратегий социально-экономического развития муниципальных образований Томской области [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=doc&base=RLAW091&n=89873#03801738839956439> (дата обращения: 26.06.2020).

В большинстве публикаций представлены блок-схемы, этапы и алгоритмы разработки стратегий развития сельских территорий [1, 4, 8, 9]. Кроме того, научные аспекты стратегической значимости имеются в публикациях российских учёных, посвящённых решению тех или иных проблем развития сельских территорий, что косвенно тоже относится к исследуемому вопросу [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Значительное число публикаций, которые отражают результаты исследования научных основ развития сельских территорий, имеется в зарубежных изданиях [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30].

Тем не менее, всё перечисленное выше выглядит весьма фрагментарно и требует научной систематизации.

Цель исследования – привести в систему научные основы разработки региональных стратегий развития сельских территорий, систематизировать в единое целое теорию, методологию и методы решения данного

вопроса применительно к предстоящей долгосрочной перспективе.

Материал и методы. Исследование базируется на использовании: 1. Наиболее значимых элементов философской методологии (всеобщих законов диалектики, категорий, имеющих общетеоретический характер, методов логики). 2. Общенаучных методологических подходов (системного, синергетического, организационного и т. д.). 3. Методов стратегического планирования и прогнозирования («Паттерн», «Дельфи», экспертных оценок, SWOT-анализа, PEST-анализа).

Результаты и их обсуждение. Исследование показывает, что научные аспекты стратегии развития сельских территорий охватывают широкий круг вопросов, без учета которых невозможно подготовить и реализовать на практике полноценный долгосрочный стратегический документ, рассчитанный на успех. Систематизация научных аспектов стратегии развития сельских территорий позволяет сгруппировать их в разрезе ключевых вопросов (табл. 1).

Таблица 1 – Научные аспекты стратегии развития сельских территорий /
Table 1 – Scientific aspects of rural development strategies

<i>Ключевые вопросы в разработке стратегии / Key issues in strategy development</i>	<i>Научные аспекты / Scientific aspects</i>
Выбор базовой парадигмы / Choosing a basic paradigm	Главные принципы. Движущая сила развития. Функции сельских территорий. Основные проблемы развития. Направленность развития / Main principles. Driving force of development. Functions of Rural Areas. The main problems of development. Development focus
Определение сущности понятия «стратегия» / The definition of the essence of the concept of "strategy"	Содержание и структура стратегии. Законы и закономерности развития / The content and structure of the strategy. Laws and patterns of development
Оценка условий и факторов / Assessment of conditions and factors	Ресурсный потенциал. Человеческий капитал. Социальный капитал. Сильные и слабые стороны развития. Ограничения и возможности / Resource potential. Human capital. Social capital. Strengths and weaknesses of development. Limitations and Opportunities
Целеполагание и оценка приоритетов / Goal setting and priority assessment	Построение системы целей и задач. Обоснование приоритетов развития / Building a system of goals and objectives. Justification of development priorities
Формирование механизма реализации стратегий / Formation of a mechanism for implementing strategies	Принципы реализации. Методы реализации. Мониторинг реализации / Implementation principles. Implementation methods. Implementation monitoring

Источник: разработка автора / Source: author's development

Ниже представлено последовательное рассмотрение научных аспектов стратегий развития сельских территорий в разрезе выделенных ключевых вопросов их разработки.

Выбор парадигмы. Парадигма, как методологическая основа принимаемых решений, в том числе в сфере стратегического планиро-

вания, определяет главные принципы разработки стратегии, основные решаемые проблемы, движущую силу и направленность развития сельских территорий, а также их функции.

К сожалению, в отечественных научных публикациях по рассматриваемой тематике отсутствует даже упоминание о парадигмах,

что весьма настораживает, так как стратегии, не базирующиеся на выработанной научным сообществом и общепринятой парадигме, являются недостаточно эффективными и целенаправленными, поскольку разрабатываются вне мейнстрима научной мысли в сфере сельского развития.

В странах ЕС с начала 90-х годов ведётся широкомасштабная дискуссия о парадигмах развития сельских территорий, в ходе которой предложена смена экзогенной модели сельского развития на эндогенную модель, в том числе в её нео-эндогенном варианте [11, с. 143]. Наши исследования [10, 11, 12 и др.] показывают, что в России до сих пор доминирует экзогенный подход к сельскому развитию, хотя постановка вопроса о необходимости его смены была представлена в публикациях более 10 лет тому назад [13].

Выбранная парадигма перспективного развития сельских территорий определяет и совокупность основных принципов разработки стратегии. В отечественных публикациях перечень таких принципов приводится без акцента на эндогенную парадигму.

Так А. А. Ломакин и М. Ю. Федотова предлагают использовать широкий спектр принципов для обеспечения перехода сельских территорий России к устойчивому развитию. В их число они включают:

- субсидиарность и комплиментарность; общественное участие;
- сбалансированность отношений между человеком, обществом и природой; дифференцированность государственной политики;
- сфокусированное развитие опорных сельских территорий;
- «преференции за реформы», т. е. селективную (грантовую) бюджетную поддержку местных и региональных инициатив развития сельских территорий;
- сбалансированное развитие всех представленных в сельской местности отраслей; ориентацию на конкретную пространственную и территориальную единицу;
- базирование развития на потенциале региона, местном населении, человеке;
- сопровождение деятельности местных целевых групп консультантами, экспертами-модераторами;
- сбалансированность социальных, экономических и экологических аспектов развития и др. [4, с. 34-36].

Среди принципов, предложенных А. А. Ломакиным и М. Ю. Федотовой, встре-

чаются, с точки зрения теории, весьма противоречивые. С одной стороны, часть из них отражает принципы теории поляризованного развития и экзогенного подхода в целом, а с другой – включает те, которые относятся к эндогенному развитию.

О. Ю. Савенкова [5, с. 98] выделяет принципы: устойчивость; многофункциональность; общественное участие и субсидиарность, а В. Н. Блохин [7] – самоуправляемость; поддержки фермерства и модернизации сельскохозяйственного производства; повышенный уровень занятости, стимулирование частной активности сельчан.

В Стратегии-2030 принципы рассмотрены в рамках государственной политики по обеспечению устойчивого развития сельских территорий, перечень которых весьма широк, а трактовка их слишком расширена.

Не все из приведенного выше перечня принципов можно причислить к данной категории, некоторые повторяют значение других, а часть важных принципов упущена, хотя их состав чрезмерно расширен.

Нами сделан вывод, что в перечень основных принципов разработки стратегий необходимо включить следующие: системность, синергизм, сбалансированность, приоритетность, неоднородность, локализацию, опору на местные ресурсы, открытость к внешней среде, инновационность, информационность, государственно-частное партнерство и др.

При этом главными принципами при переходе от экзогенного пути к эндогенному развитию сельских территорий являются:

1. Территориальность – фокус внимания переносится с отрасли (сектора) на территорию.
2. Инвестиционность – акцент вместо субсидий делается на инвестиции.

В качестве основной движущей силы в эндогенной парадигме выступают местная инициатива и предприимчивость, а в её нео-эндогенном варианте плюс к тому – знания, человеческий и социальный капитал в рамках «сетей» предприятий, практических работников и учреждений, работающих в сельских районах [11].

Функции сельских территорий в рамках эндогенной парадигмы рассматриваются в расширенных рамках, включая в себя, кроме производственных функций, совокупность непроизводственных (социально-демографическую, контроля над территорией, сохранения ландшафтов и культурно-исторического наследия, рекреационную).

В качестве основных проблем при эндогенном пути развития выступают ограниченные возможности отдельных территорий и групп населения в экономической деятельности, а также неоднородность сельских районов по степени развития человеческого капитала и интеллектуальных активов, по возможностям привлечения университетов, других учебных и научных учреждений в качестве агентов развития.

Направление развития в рамках эндогенной парадигмы заключается в создании институционального потенциала, направленного на мобилизацию внутренних ресурсов и внешних факторов, действующих в регионе, в укреплении инфраструктуры и преодолении территориальной изоляции.

Определение сущности понятия «стратегии». Формирование методологического базиса любой научной разработки начинается с определения сущности основного понятия. В нашем случае таким понятием является «стратегия». От того насколько точно понятие отражает сущность явления, зависят результаты последующего научного поиска. В определение сущности понятия «стратегия» закладывается её содержание и структура, а также в общем виде находят своё отражение законы и закономерности развития данного явления.

Включение в состав стратегий сельского развития, по аналогии со стратегиями социально-экономического развития регионов России, всех разделов от стратегического анализа и оценки достигнутых целей развития до выбора механизмов реализации стратегии [1, с. 286-287], вряд ли является правомерным. Стратегии развития сельских территорий ориентируются на иные цели и задачи, чем в аналогичных разработках по социально-экономическому развитию регионов России. Если во втором случае цели и задачи должны быть сфокусированы на развитии экономики регионов в целом, то в первом – только сельских территорий.

Наряду с широким определением сущности стратегии развития сельских территорий встречается её более узкое толкование [2, 3, 4]. Авторы коллективной монографии под редакцией академика РАН В. М. Баутина понимают её как «представленное в документах отражение желаемого будущего состояния экономической и социальной структуры региона (цели) и способы использования имеющихся и реально возможных ресурсов для достижения этого» [2, с. 185-186]. Практически такое же определение дают учёные МГУ им. Н. П. Огарёва, понимая под стратегией «документально выраженное представление о желаемом

будущем состоянии территории, о системе мер и ресурсов, используемых для приближения этого будущего» [3, с. 89]. В монографии А. А. Ломакина и М. Ю. Федотовой встречается ещё более узкое толкование этого термина, где под стратегией понимаются «долгосрочные, наиболее принципиальные и важные цели и задачи социально-экономического развития сельской местности» [4, с. 39].

Представляется, что слишком узкое определение не позволяет в полном объеме раскрыть сущность понятия «стратегия».

Приведённые выше формулировки и собственная позиция автора позволяют определить стратегию как научно обоснованную систему долгосрочных целей и задач многофункционального развития сельской местности, формулируемых исходя из оценки ресурсного потенциала территории и её социально-экономической среды в рамках конкретной парадигмы.

С учетом зарубежного опыта и выводов, сделанных нами ранее, считаем, что стратегия развития сельских территорий должна быть ориентирована на переход от экзогенной парадигмы к эндогенной парадигме сельского развития в ее нео-эндогенном варианте.

Оценка условий и факторов. В связи с тем, что эндогенное развитие базируется на использовании локальных ресурсов с учетом влияния внешних условий и факторов, то необходимым является наиболее полная диагностика и оценка как ресурсного потенциала сельских территорий, так и особенностей взаимодействия их с внешней средой.

В первую очередь требуется диагностика и оценка земельных, лесных, водных, промысловых и местных минерально-сырьевых ресурсов, на основе которых могут реализовываться производственные функции сельских территорий.

Во-вторых, оцениваются ресурсы, лежащие в основе реализации непродовольственных функций сельских территорий: рекреационные ресурсы, особо охраняемые территории, объекты культурного наследия, природные и культурные ландшафты.

В-третьих, исследуется состояние человеческого и социального капитала, которые оцениваются с точки зрения их возможностей для реализации модели эндогенного развития сельских территорий. От состояния человеческого и социального капитала в полной мере зависит успех перехода сельских территорий от экзогенного к эндогенному пути развития. В отличие от ресурсов сельских территорий

На рисунке показана не только иерархическая соподчинённость целей, но и последовательность их реализации. Реализация пяти целей первого уровня иерархии в полном объеме обеспечивает достижение генеральной цели, отвечая двум основным принципам декомпозиции: необходимости и достаточности. Аналогичным образом осуществляется декомпозиция каждой из целей I-го

уровня, затем II-го и так далее.

Не имея возможности представить в статье в полном объеме всю систему целей и задач, даем здесь лишь её фрагмент, ограничиваясь целями III-го уровня, последующая декомпозиция которых, в конечном счете, заканчивается системой задач, решение которых и должно обеспечить достижение генеральной цели (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты декомпозиции генеральной цели «Обеспечение перехода сельских территорий от экзогенного к эндогенному пути развития» до III уровня «дерева целей» /
Table 2 – Decomposition results of the general goal «Ensuring the transition of rural territories from the exogenous to the endogenous path of development» to level III of the «target tree»

<i>Цели I-го уровня / Tier I Goals</i>	<i>Цели II уровня / Tier II Goals</i>	<i>Цели III уровня / Tier III Goals</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1. Определение миссии сельских территорий при эндогенном пути развития / Definition of the mission of rural areas with an endogenous path of development	1.1. Исследование ресурсного потенциала территории на предмет многофункционального использования / Study of the resource potential of the territory for multifunctional use	1.1.1. Установление географического образа территорий / Establishing a geographical image of territories. 1.1.2. Определение имиджа территории и перспектив его формирования / Determining the image of the territory and the prospects for its formation. 1.1.3. Определение перспектив и направлений создания бренда территории / Identification of prospects and directions for creating a territory brand.
	1.2. Определение функций территории, исходя из её ресурсного потенциала / Determination of the functions of the territory, based on its resource potential	1.2.1. Определение функций международного и федерального значения / Definition of functions of international and federal significance. 1.2.2. Определение функций регионального значения / Definition of functions of regional significance. 1.2.3. Определение функций локального значения / Defining Local Value Functions.
2. Диагностика современного состояния и проблем развития сельских территорий с позиций перехода к эндогенной парадигме / Diagnosis of the current state and problems of rural development from the perspective of the transition to an endogenous paradigm	2.1. Проведение SWOT-анализа внутренней и внешней среды / Conducting a SWOT analysis of the internal and external environment	2.1.1. Определение сильных сторон / Identifying strengths. 2.1.2. Выявление слабых сторон / Identification of weaknesses. 2.1.3. Установление возможностей / Identification of the opportunities. 2.1.4. Выявление угроз / Threat identification.
	2.2. Проведение PEST-анализа внешней среды / PEST analysis of the environment	2.2.1. Оценка степени и вероятности влияния политической среды / Assessment of the degree and probability of the influence of the political environment. 2.2.2. Оценка степени и вероятности влияния экономической среды / Assessment of the degree and probability of the impact of the economic environment. 2.2.3. Оценка степени и вероятности влияния социокультурной среды / Assessment of the degree and probability of the influence of the sociocultural environment. 2.2.4. Оценка степени и вероятности влияния технологической среды / Assessment of the degree and probability of the influence of the technological environment.
3. Обоснование системы целей и задач развития сельских территорий, исходя из их долгосрочной миссии /	3.1. Обеспечение выполнения территориями производственных функций / Ensuring the implementation of production functions by territories	3.1.1. Цели и задачи развития сельскохозяйственного производства / Goals and objectives of the development of agricultural production.

1	2	3
Justification of the system of goals and objectives of rural development, based on their long-term mission		3.1.2. Цели и задачи развития лесохозяйственного производства / Goals and objectives of the development of forestry. 3.1.3. Цели и задачи развития альтернативных производств / Goals and objectives of the development of alternative industries.
	3.2. Обеспечение выполнения территориями непроизводственных функций / Ensuring the implementation of non-production functions by territories	3.2.1. Цели и задачи по выполнению социально-демографической функции / Goals and objectives for the implementation of the socio-demographic function. 3.2.2. Цели и задачи по выполнению функций по контролю над территорией, сохранению ландшафтов и культурно-исторического наследия / Goals and objectives for the implementation of the functions of control over the territory, the preservation of landscapes and cultural and historical heritage. 3.2.3. Цели и задачи по выполнению рекреационной функции / Goals and objectives for the implementation of the recreational function.
4. Определение значимости и приоритетов реализации стратегических целей и задач / Determination of the significance and priorities of the implementation of strategic goals and objectives	4.1. Формирование экспертных комиссий по основным группам целей / Formation of expert commissions on the main groups of goals	4.1.1. Экспертные комиссии по группе производственных целей / Expert commissions on a group of production goals. 4.1.2. Экспертные комиссии по группе непроизводственных целей / Expert commissions for a group of non-production goals.
	4.2. Проведение экспертных оценок значимости целей и задач для достижения генеральной цели / Carrying out expert assessments of the significance of goals and objectives to achieve the general goal	4.2.1. Экспертная оценка производственных целей и задач / Expert assessment of production goals and objectives. 4.2.2. Экспертная оценка непроизводственных целей и задач / Expert assessment of non-production goals and objectives.
5. Обоснование механизма реализации стратегии / Justification of the mechanism for implementing the strategy	5.1. Формирование новой институциональной среды / Formation of a new institutional environment	5.1.1. Принятие новых институциональных норм по закреплению локальных ресурсов за местными сообществами / Adoption of new institutional norms for securing local resources for local communities. 5.1.2. Принятие новых институциональных норм по управлению локальными рынками / Adoption of new institutional standards for managing local markets. 5.1.3. Принятие новых институциональных норм по ускорению пространственного распространения инноваций / Adoption of new institutional standards to accelerate the spatial distribution of innovation.
	5.2. Создание сельских Web-сетей, ориентированных на эндогенное развитие / Creating rural endogenous development Web networks	5.2.1. Обеспечение покрытия высокоскоростным мобильным интернетом всей сельской местности / Providing high-speed mobile Internet coverage throughout the countryside. 5.2.2. Подключение к Интернет-сети всех сельских населенных пунктов / Providing Internet connection for all rural settlements. 5.2.3. Создание глобальной сельской Web-сети, включающей всех акторов, заинтересованных в развитии сельских территорий / Creation of a global rural Web-network, including all actors interested in rural development.

Источник: разработка автора / Source: author's development

Построенное таким образом «дерево целей» далее используется для оценки приоритетов каждой цели в достижении соответствующей цели более высокого уровня и, в конечном счете, генеральной цели. Оценка ведётся на основе метода экспертных оценок [31, 32]. Для оценки приоритетов целей и задач формируются комиссии экспертов по направлениям с учетом их компетенции.

На каждом уровне относительно соответствующих вышестоящих целей эксперты выставляют оценки значимости целей данного уровня в долях единицы, исходя из правила, что их общая сумма должна быть равна единице:

$$\sum_{j=1}^n v_j = 1$$

где v_j – оценка значимости j -ой группы целей относительно вершины дерева целей;

$j = \overline{1, n}$ – число целей в j -ой группе;

$$\sum_{i=1}^m q_{ij} = 1$$

где q_{ij} – оценка значимости i -ой цели в j -ой группе целей; $i = \overline{1, m}$ – число целей в j -ой группе.

Более полное включение в процесс развития сельских территорий местных ресурсов, осуществление институциональных преобразований и широкое использование Web-сетей способны дать несравненно больший экономический и социальный эффект, чем возрастающие объемы субсидирования ограниченно-го количества одних и тех же акторов.

Формирование механизма реализации стратегий. Механизм реализации стратегий в рамках парадигмы эндогенного развития сельских территорий может строиться на широком использовании «сельских сетей», представляющих собой коммуникационные структуры, благодаря которым информация передается через длинные цепочки отношений на значительные расстояния. Сети в этом случае выступают в качестве инструмента координации развития сельских территорий, исключая неэффективность внешнего планирования и прогнозирования на основе иерархических систем управления и свободного рынка с его «провалами». Сети представляют собой пространства, в которых происходит обмен материальными и нематериальными потоками, разделение рисков, инвестиций и технологий.

Автономия и разделение рисков, обмен знаниями и информацией, с одной стороны, а также согласованность в установлении правил, с другой, позволяют сформировать сеть в качестве гибридной формы, лежащей между иерархией и рынком [28]. Глобальная сеть представляет собой совокупность сетей, которые связывают воедино различные социально-технологические, политические и экономические структуры управления [29]. В совокупность сетей могут входить агроэкологические, агропродовольственные, рекреационные, инновационные и иные сельские сети, объединяющие различных акторов (индивидов, социальных групп, организаций, институтов и др.) по соответствующим интересам. При этом акторы становятся участниками множества социально-технологических сетей со своей внутренней согласованностью и общими проектами, что в совокупности обеспечивает уникальное сочетание индивидуальных и совместных действий.

Сельские сети позволяют связывать воедино проблемы развития, которые являются внутренними по отношению к сельской местности, с проблемами и возможностями, которые являются внешними. В этом смысле термин «сеть» позволяет удерживать то, что «внутри» и то, что «снаружи» вместе в одной системе отсчета» [30, С. 417]. Успех в развитии сельских территорий при этом во многом зависит от того, насколько местные сети смогут быть мобилизованы для участия в глобальных процессах.

Как механизм реализации стратегии развития сельских территорий, сетевой подход выступает в качестве инструментов:

- сравнительного анализа, диагностики и оценки потенциала, степени неоднородности развития и уникальности различных сельских районов;

- оценки стратегий развития сельских территорий с точки зрения «рефлексивной территориализации», которая производит дифференциацию и позиционирование сельских районов в глобальных сетях [25];

- коммуникации, облегчающей движение информационных потоков и социальное взаимодействие;

- упорядочения, обеспечивающего установление общих когнитивных рамок для создания нового или подключения уже существующего локализованного социального капитала;

- распространения информации о ценностях, базе знаний, путях получения инноваций и примеров передового опыта;

- создания альтернативных цепочек поставок продуктов питания, сырья и сельских услуг, активизации существующей инфраструктуры и др.

Выводы. Реализуемые в настоящее время стратегии долгосрочного развития сельских территорий на федеральном, региональном и муниципальном уровнях не являются достаточным образом научно обоснованными. Имеющиеся научные публикации о стратегиях сельского развития немногочисленны, разнонаправленны, не систематизированы. Проведённое исследование позволило в определенной степени решить эти проблемы. В частности, систематизация научных аспектов стратегии развития сельских территорий выявила необходимость группировки их в разрезе ключевых вопросов, к которым были отнесены: выбор парадигмы сельского развития в обозримой перспективе, определение сущности понятия «стратегии», оценка условий и факторов, целеполагание и оценка приоритетов, формирование механизма реализации стратегий.

Изучение зарубежного опыта, содержание иностранных публикаций и результаты наших исследований указали на целесообразность принятия эндогенной парадигмы долгосрочного развития сельских территорий в её нео-эндогенном варианте.

Определение сущности понятия «стратегия», как методологического базиса научных

основ её, требует учета содержания, структуры и отражения в общем виде законов и закономерностей данного явления.

Оценка условий и факторов эндогенного развития вызывает необходимость рассмотрения не только локальных ресурсов сельских территорий, но и степени влияния на сельское развитие политической, экономической, социокультурной и технологической внешней среды.

Целеполагание при разработке стратегии ориентирует на переход сельских территорий от существующего экзогенного к эндогенному пути развития, от доминирования субсидирования к максимально возможному использованию внутреннего потенциала территорий. Сконструированное в процессе целеполагания «дерево целей» может использоваться для определения с применением метода экспертных оценок, приоритетов в решении задач по переходу к целевой эндогенной модели сельского развития.

Механизм реализации стратегий в рамках эндогенной парадигмы, построенный на широком использовании «сельских сетей», следует принять в качестве инструмента координации развития сельских территорий, исключающего неэффективность внешнего планирования и прогнозирования, базирующихся на основе иерархических систем управления и свободного рынка с его «провалами».

Таким образом, изложенное выше, в совокупности, позволило привести в систему научные аспекты разработки региональных стратегий развития сельских территорий.

Список литературы

1. Агibalов А. В., Клейменов Д. С., Орехов А. А. Методология разработки стратегии развития сельских территорий: инновационный подход. Международный сельскохозяйственный журнал. 2019;(4):279-289. DOI: <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2019-10105>
2. Андреева Н. П., Ивашов Д. Н., Козлов В. В., Новоселов А. Л., Мерзлов А. В., Чепурных Н. В., Черников В. А. Устойчивое развитие сельских территорий: вопросы стратегии и тактики: монография. Под ред. В. М. Баутина, Д. Н. Ивашова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 312 с.
3. Модернизация механизма устойчивого развития сельских территорий: монография. Под общей ред. Е. Г. Коваленко. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2014. 166 с.
4. Ломакин А. А., Федотова М. Ю. Устойчивое развитие сельских территорий как направление стратегии их функционирования: монография. Пенза: РИО ПГСХА, 2013. 200 с.
5. Савенкова О. Ю. Стратегия социально-ориентированного развития сельских территорий. Липецк: «Липецк-Плюс», 2015. 244 с.
6. Сулейменов Ж. Ж., Раимбеков С. Г. Теория формирования стратегии устойчивого развития сельских территорий. Исследования, результаты. 2011;(1):255-259. Режим доступа: https://izdenister.kaznau.kz/files/parts/2011_1/2011_1_75.pdf
7. Блохин В. Н. Значение стратегии устойчивого развития в социально-экономической динамике сельских территорий. Экономические исследования и разработки. 2016;(1):62-70. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26719397>

8. Тимофеева Н. С. Стратегическое планирование как важнейший элемент менеджмента устойчивого развития сельских территорий. Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: политические, социологические и экономические науки. 2019;4(1):143-148.
DOI: <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2019-4-1-143-148>
9. Шевченко В., Белоусов В., Белоусов А. Организация планирования социального развития сельских территорий. АПК: экономика, управление. 2004;(4):56-66.
10. Костяев А. И. Парадигмы и концепции развития сельских территорий. Российский электронный научный журнал. 2018;3(29):7-35. DOI: <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2018-29-3-7-35>
11. Костяев А. И. Концептуальные подходы к развитию сельских территорий с учётом европейского опыта. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018; 6 (67): 141-148.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.141-148>
12. Костяев А. И. К вопросу о парадигме развития сельских территорий. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2018;(6):3-12.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36816778>
13. Калугина З. И., Фадеева О. П. Новая парадигма сельского развития. Мир России. 2009;18(2):34-49.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15615969>
14. Петриков А. В. Обеспечить устойчивое развитие сельских территорий. АПК: экономика, управление. 2005;(6):13-19.
15. Мерзлов А. В. Переход к устойчивому развитию сельских территорий: теория, методология и практика. М.: Изд-во ИГ РАН, 2006. 308 с.
16. Меренкова И. Н., Попов Д. И., Новикова И. И., Перцев В. Н. Модели устойчивого развития сельских территорий района. Воронеж: Изд-во ГНУ НИИЭОАПК ЦЧР России, 2011. 49 с.
17. Бондаренко Л. В. Сельские территории: состояние и регулирование. АПК: экономика, управление. 2014;(1):69-79.
18. Чепурных Н. В., Мерзлов А. В. Социально-экономические факторы развития сельских территорий. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: экономика и экологический менеджмент. 2017;(4):92-101.
DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2017-10-4-92-101>
19. Элино́р Остро́м. Управляя общим: эволюция институтов коллективной деятельности. Пер. с англ. М.: ИРИСЭН, Мысль, 2010. 447 с. Режим доступа: <https://istina.net.ua/vlogenia/elinor%20ostrom.pdf>
20. Murdoch J., Pratt A. C. Rural studies, Modernism, Postmodernism and the «Post rural». Journal of Rural Studies. 1993;9(4):411-427. DOI: [https://doi.org/10.1016/0743-0167\(93\)90053-M](https://doi.org/10.1016/0743-0167(93)90053-M)
21. Ploeg J. D., Dijk G. (eds.). Beyond modernization. The impact of endogenous rural development. Assen: Van Gorcum, 1995. 297 p.
22. Lowe P., Murdoch J., Ward N. Beyond endogenous and exogenous models: Networks in rural development, in J. D. van der Ploeg and G van Dijk (eds.) Beyond Modernisation: the Impact of Endogenous Rural Development. Van Gorcum: Assen, 1995. 296 p.
23. Мантино Ф. Сельское развитие в Европе: Политика, институты и действующие лица на местах с 1970-х годов до наших дней. Пер. с итал. ФАО. Business Media of the Sole 24 Ore, 2010. 272 с.
24. Ward N., Atterton J., Kim T. Y., Lowe P., Phillipson J., Thompson N. Universities, the Knowledge Economy and 'Neo-Endogenous Rural Development'. Centre for Rural Economy Discussion Paper Series. 2005;(1):1-15.
25. Ploeg J. D., Marsden T. Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development. Assen, the Netherlands: Van Gorcum, 2008. 262 p.
26. Mantino F. La riforma delle Politiche di sviluppo rurale 2014-2020. Agriregionieuropa. 2013;9 (32):47.
URL: <https://agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/32/la-programmazione-dello-sviluppo-rurale-2014-2020-il-position-paper-e-laccordo>
27. Guinjoan E., Badia A., Tulla A. F. The new Paradigm of Rural Development. Territorial Considerations and Reconceptualization using The "Rural Web". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. 2016;(71):495-500. DOI: <https://doi.org/10.21138/bage.2279>
28. Saccomandi V., Ploeg J. D. Agricultural Market Economics: A Neo-institutional Analysis of the Exchange, Circulation and Distribution of Agricultural Products. Van Gorcum: Assen, 1998. 231 p.
29. Murdoch J. Networking Rurality: emergent complexity in the countryside, in P. Cloke, T. Marsden and P.H. Mooney (eds), Handbook of Rural Studies, SAGE, London. 2006. pp. 171-184.
30. Murdoch J. Networks- a new paradigm of rural development? Journal of Rural Studies. 2000;16(4):407-419.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(00\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(00)00022-X)
31. Евланов Л. Г., Кутузов В. А. Экспертные оценки в управлении. М.: Экономика, 1978. 133 с.
32. Крымский С. Б., Жилин Б. Б., Паниотто В. И. Экспертные оценки в социологических исследованиях. Отв. ред. С. Б. Крымский. Киев: Наукова думка, 1990. 318 с.

References

1. Agibalov A. V., Kleymenov D. S., Orekhov A. A. *Metodologiya razrabotki strategii razvitiya sel'skikh territoriy: innovatsionnyy podkhod*. [Methodology of development of strategy of development of rural areas: an innovative approach]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International agricultural journal. 2019;(4):279-289. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2019-10105>
2. Andreeva N. P., Ivashov D. N., Kozlov V. V., Novoselov A. L., Merzlov A. V., Chepurnykh N. V., Chernikov V. A. *Ustoychivoe razvitie sel'skikh territoriy: voprosy strategii i taktiki: monografiya*. [Sustainable rural development: issues of strategy and tactics: monograph]. *Pod red. V. M. Bautina, D. N. Ivashova*. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2004. 312 p.
3. *Modernizatsiya mekhanizma ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy: monografiya*. [Modernization of the mechanism of sustainable development of rural territories: monograph]. *Pod obshchey red. E. G. Kovalenko*. Moscow: Izdatel'skiy dom Akademii Estestvoznaniya, 2014. 166 p.
4. Lomakin A. A., Fedotova M. Yu. *Ustoychivoe razvitie sel'skikh territoriy kak napravlenie strategii ikh funktsionirovaniya: monografiya*. [Sustainable development of rural territories as a direction of their functioning strategy: monograph]. Penza: RIO PGSKhA, 2013. 200 p.
5. Savenkova O. Yu. *Strategiya sotsial'no-orientirovannogo razvitiya sel'skikh territoriy*. [Strategy for socially-oriented rural development]. Lipetsk: «Lipetsk-Plyus», 2015. 244 p.
6. Suleymenov Zh. Zh., Raimbekov S. G. *Teoriya formirovaniya strategii ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy*. [Theory of formation of strategy of the sustainable development of rural territories]. *Issledovaniya, rezul'taty* = Researches, Results. 2011;(1):255-259. (In Kazakhstan). URL: https://izdenister.kaznau.kz/files/parts/2011_1/2011_1_75.pdf
7. Blokhin V. N. *Znachenie strategii ustoychivogo razvitiya v sotsial'no-ekonomicheskoy dinamike sel'skikh territoriy*. [Role of sustainable development strategies in social and economic dynamic of rural areas]. *Ekonomicheskie issledovaniya i razrabotki* = Economic Development Research Journal. 2016;(1):62-70. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26719397>
8. Timofeeva N. S. *Strategicheskoe planirovanie kak vazhneyshiy element menedzhmenta ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy*. [Strategic planning as the most important element of management of the sustainable development of rural territories]. *Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki* = Bulletin of Kemerovo state university. Series: political, sociological and economic sciences. 2019;4(1):143-148. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2019-4-1-143-148>
9. Shevchenko V., Belousov V., Belousov A. *Organizatsiya planirovaniya sotsial'nogo razvitiya sel'skikh territoriy*. [Organization of planning of social development of rural territories]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2004;(4):56-66. (In Russ.).
10. Kostyaev A. I. *Paradigmy i kontseptsii razvitiya sel'skikh territoriy*. [Paradigms and conceptions of rural areas development]. *Rossiyskiy elektronnyy nauchnyy zhurnal* = Russian electronic scientific journal. 2018;3(29):7-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2018-29-3-7-35>
11. Kostyaev A. I. *Kontseptual'nye podkhody k razvitiyu sel'skikh territoriy s uchetom evropeyskogo opyta*. [Conceptual approaches to the development of rural areas, taking into account the European experience]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018; 6 (67): 141-148. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.141-148>
12. Kostyaev A. I. *K voprosu o paradigme razvitiya sel'skikh territoriy*. [To the question about the paradigm of development of rural territories]. *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://www.elibrary.ru/item.asp?id=36816778>
13. Kalugina Z. I., Fadeeva O. P. *Novaya paradigma sel'skogo razvitiya*. [New paradigm of rural development]. *Mir Rossii* = Universe of Russia. 2009;18(2):34-49. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15615969>
14. Petrikov A. V. *Obespechit' ustoychivoe razvitie sel'skikh territoriy*. [Ensure sustainable development of rural territories]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2005;(6):13-19. (In Russ.).
15. Merzlov A. V. *Perekhod k ustoychivomu razvitiyu sel'skikh territoriy: teoriya, metodologiya i praktika*. [Transition to sustainable rural development: theory, methodology and practice]. Moscow: Izd-vo IG RAN, 2006. 308 p.
16. Merenkova I. N., Popov D. I., Novikova I. I., Pertsev V. N. *Modeli ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy rayona*. [Models of sustainable development of rural areas of the district]. Voronezh: Izd-vo GNU NIIEOAPK TsChR Rossii, 2011. 49 p.
17. Bondarenko L. V. *Sel'skie territorii: sostoyanie i regulirovanie*. [Rural territory: status and regulation]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2014;(1):69-79. (In Russ.).
18. Chepurnykh N. V., Merzlov A. V. *Sotsial'no-ekonomicheskie faktory razvitiya sel'skikh territoriy*. [Social, environmental and economic factors for development of rural territories]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya ekonomika i ekologicheskiiy menedzhment* = Scientific journal NRU ITMO Series «Economics and Environmental Management». 2017;(4):92-101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2017-10-4-92-101>

19. Elinor Ostrom. *Upravlyaya obshchim: evolyutsiya institutov kollektivnoy deyatel'nosti*. [Managing the General. Evolution of institutions for collective functioning]. *Per. s angl.* Moscow: *IRISEN, Mysl'*, 2010. 447 p. URL: <https://istina.net.ua/vlogenia/elinor%20ostrom.pdf>
20. Murdoch J., Pratt A. C. Rural studies, Modernism, Postmodernism and the «Post rural». *Journal of Rural Studies*. 1993;9(4):411-427. DOI: [https://doi.org/10.1016/0743-0167\(93\)90053-M](https://doi.org/10.1016/0743-0167(93)90053-M)
21. Ploeg J. D., Dijk G. (eds.). *Beyond modernization. The impact of endogenous rural development*. Assen: Van Gorcum, 1995. 297 p.
22. Lowe P., Murdoch J., Ward N. Beyond endogenous and exogenous models: Networks in rural development, in J. D. van der Ploeg and G van Dijk (eds.) *Beyond Modernisation: the Impact of Endogenous Rural Development*. Van Gorcum: Assen, 1995. 296 p.
23. Mantino F. *Sel'skoe razvitie v Evrope: Politika, instituty i deystvuyushchie litsa na mestakh s 1970-kh godov do nashikh dnei*. [Rural development in Europe: Policies, institutions and local actors from the 1970s to the present]. *Per. s ital.*, FAO. Business Media of the Sole 24 Ore, 2010. 272 p.
24. Ward N., Atterton J., Kim T. Y., Lowe P., Phillipson J., Thompson N. Universities, the Knowledge Economy and 'Neo-Endogenous Rural Development'. Centre for Rural Economy Discussion Paper Series. 2005;(1):1-15.
25. Ploeg J. D., Marsden T. *Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development*. Assen, the Netherlands: Van Gorcum, 2008. 262 p.
26. Mantino F. La riforma delle Politiche di sviluppo rurale 2014-2020. *Agriregionieuropa*. 2013;9 (32):47. URL: <https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/32/la-programmazione-dello-sviluppo-rurale-2014-2020-il-position-paper-e-laccordo>
27. Guinjoan E., Badia A., Tulla A. F. The new Paradigm of Rural Development. Territorial Considerations and Reconceptualization using The "Rural Web". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 2016;(71):495-500. DOI: <https://doi.org/10.21138/bage.2279>
28. Saccomandi V., Ploeg J. D. *Agricultural Market Economics: A Neo-institutional Analysis of the Exchange, Circulation and Distribution of Agricultural Products*. Van Gorcum: Assen, 1998. 231 p.
29. Murdoch J. Networking Rurality: emergent complexity in the countryside, in P. Cloke, T. Marsden and P.H. Mooney (eds), *Handbook of Rural Studies*, SAGE, London. 2006. pp. 171-184.
30. Murdoch J. Networks- a new paradigm of rural development? *Journal of Rural Studies*. 2000;16(4):407-419. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(00\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(00)00022-X)
31. Evlanov L. G., Kutuzov V. A. *Ekspertnye otsenki v upravlenii*. [Expert evaluation in the management]. Moscow: *Ekonomika*, 1978. 133 p.
32. Krymskiy S. B., Zhilin B. B., Paniotto V. I. *Ekspertnye otsenki v sotsiologicheskikh issledovaniyakh*. [Expert assessments in sociological research]. *Otv. red. S. B. Krymskiy*. Kiev: *Naukova dumka*, 1990. 318 p.

Сведения об авторе

✉ **Костяев Александр Иванович**, доктор экон. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий – структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», ш. Подбельского, д. 7, Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4041-6935>, e-mail: galekos46@gmail.com

Information about the authors

✉ **Alexander I. Kostyaev**, DSc in Economics, professor, academician of RAS, chief scientific researcher, Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories, Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Podbelsky highway, 7, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation, 196608, e-mail: szniesh@gmail.com, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4041-6935>, e-mail: galekos46@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

**Памяти
Геннадия Петровича Дудина**



11 июля 2020 года исполнился год, как ушел из жизни Геннадий Петрович Дудин – выдающийся учёный по фото- и хемомутагенезу, доктор биологических наук, профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии.

Геннадий Петрович родился 7 июля 1948 г. в деревне Кошчевы Котельничского района Кировской области. В 1972 году окончил с отличием Кировский СХИ, получив квалификацию агроном. В 1975 г. он поступил в аспирантуру Академии наук Молдавской ССР и в 1981 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию. В 1994 г. стал доктором биологических наук.

Вся творческая жизнь Геннадия Петровича Дудина была связана с Кировским сельскохозяйственным институтом (ныне Вятская ГСХА). С 1971 г. он начал работу научным сотрудником, а затем преподавателем на кафедре селекции и семеноводства Кировского СХИ.

С 1983 г. Геннадий Петрович возглавлял кафедру селекции и семеноводства с курсом защиты растений, а после её реорганизации (с 2013 по 2019 год) – кафедру биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии.

Научные исследования Г. П. Дудина были направлены на решение фундаментальных проблем фото- и хемомутагенеза растений, им опубликовано более 300 научных работ. Геннадий Петрович Дудин одним из первых в Кировской области использовал лазер для выведения высокопродуктивных сортов ячменя. Тот пламенный интерес к науке, который зародился в нем в студенческие годы, оставался всегда. Его монография «Индукцированный мутагенез и использование в селекции растений» не только значительный научный труд, но и учебник для нынешних и последующих поколений бакалавров, магистров и аспирантов. Оригинальные способы мутагенной обработки семян и растений защищены двумя авторскими свидетельствами и двенадцатью патентами. На основе

использования разработанных приемов он создал большую коллекцию мутантов ячменя, 45 из которых зарегистрированы в мировом генофонде Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова.

Г. П. Дудин – автор 6 сортов ярового ячменя. Наряду с селекционной работой под его руководством в течение 40 лет велось первичное семеноводство яровых зерновых культур для обеспечения оригинальными семенами элитно-семеноводческих хозяйств Кировской и других областей.

Г. П. Дудин принимал активное участие в установлении международных научных связей Вятской ГСХА с сельскохозяйственными вузами и научными учреждениями Германии, Китая, Латвии, Нидерландов, Польши, Украины.

С 1995 по 2000 год являлся заместителем председателя и заведующим отделом сводного планирования и координации научно-исследовательской работы Северо-Восточного научно-методического центра Российской академии сельскохозяйственных наук.

С 2002 года – член экспертного совета ВАК Министерства образования и науки РФ. В 2004 г. избран действительным членом Международной академии аграрного образования, в 2006 г. – действительным членом Российской академии естествознания.

С 2000 по 2010 год Г. П. Дудин – проректор по научной работе, в 2009 г. ему присвоено почётное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации». С 2010 по 2013 год он являлся директором Центра инноваций Вятской ГСХА. При его непосредственном участии организована работа 6 советов по защите докторских и кандидатских диссертаций, проведено более 50 научных конференций в Вятской ГСХА. Он был ответственным редактором 80 сборников научных трудов.

С 2011 по 2016 год Г. П. Дудин – член совета по биотехнологии и член экспертного совета по развитию инновационной деятельности при Правительстве Кировской области.

За трудовые успехи Г. П. Дудин был награждён знаком «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», медалью им. Н. И. Вавилова Российской академии естествознания, дипломом «Золотая кафедра России», удостоен Почётной грамоты Президента Российской Федерации В. В. Путина от 5 апреля 2019 г. «За заслуги в научной и педагогической деятельности, подготовке высококвалифицированных специалистов».

Г. П. Дудиным создана и функционирует научная школа по селекции и семеноводству сельскохозяйственных культур. Под его руководством подготовлено 16 кандидатов сельскохозяйственных и биологических наук.

Доброжелательный, мудрый, внимательный к людям, всегда полный сил, энергичный, с огромными планами на будущее – таким мы всегда знали Геннадия Петровича и невозможно представить, что его ранний уход оборвал столько новых замыслов, планов, открытий, свершений.

Светлая память Геннадию Петровичу.
Низкий поклон за преданность аграрной науке.

Коллектив преподавателей кафедры биологии растений,
селекции и семеноводства, микробиологии
агрономического факультета Вятской ГСХА

